

TUGAS AKHIR - RG141536

DETEKSI KERANGKA KAPAL MENGGUNAKAN DATA *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK KESELAMATAN ALUR PELAYARAN

(Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)

Muhammad Ilham Fahmi Al-Azhar
NRP 033114 4000 0038

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RG141536

DETEKSI KERANGKA KAPAL MENGGUNAKAN DATA *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK KESELAMATAN ALUR PELAYARAN

(Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)

Muhammad Ilham Fahmi Al-Azhar
NRP 033114 4000 0038

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

SHIPWRECK DETECTION USING MULTIBEAM ECHOSOUNDER DATA FOR SHIPPING LINE SAFETY

(Case Study: Surabaya West Access Channel)

Muhammad Ilham Fahmi Al-Azhar
NRP 033114 4000 0038

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DETEKSI KERANGKA KAPAL MENGGUNAKAN
DATA *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK
KESELAMATAN ALUR PELAYARAN
(Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)**

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Fahmi Al-Azhar
NRP : 03311440000038
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yuwono, M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRAK

Tingkat kecelakaan transportasi laut di Indonesia terus meningkat dalam kurun waktu tujuh tahun terakhir. Sejak 2010-2016, terdapat total 54 kasus kecelakaan kapal. Di wilayah Alur Pelayaran Barat Surabaya sendiri, tercatat ada 10 kerangka kapal yang karam di dasar laut. Keberadaan kerangka kapal tersebut dapat membahayakan keselamatan alur pelayaran serta mengganggu efektivitas kinerja distribusi logistik di Indonesia Timur. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi kerangka kapal adalah *multibeam echosounder*, dengan memanfaatkan prinsip kerja gelombang akustik untuk memperoleh data batimetri serta detail morfologi *seabed*.

Hasil penelitian menunjukkan, kerangka kapal Tongkang Utama 9 ditemukan telah memasuki area alur pelayaran. Nilai kedalaman kerangka kapal termasuk masih aman untuk dilewati oleh kapal dengan nilai *draft* hingga 8,3 meter. Namun, lokasinya hanya berjarak 10,05 meter dari as alur pelayaran, sehingga jenis lalu lintas alur pelayaran Alur Pelayaran Barat Surabaya diubah menjadi sistem rute satu arah demi kepentingan bersama.

***Kata Kunci: Alur Pelayaran Barat Surabaya, Batimetri,
Kerangka Kapal, Multibeam Echosounder***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**SHIPWRECK DETECTION
USING MULTIBEAM ECHOSOUNDER DATA
FOR SHIPPING LINE SAFETY
(Case Study: Surabaya West Access Channel)**

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Fahmi Al-Azhar
NRP : 03311440000038
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yuwono, M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRACT

The rate of sea transportation accidents in Indonesia are increasing in the last seven years. Since 2010-2016, there are 54 cases of ship accident in total. For Surabaya West Access Channel territory alone, 10 shipwrecks are reported still left behind in the bottom of the sea. The existence of those shipwreck sites can put the safety of shipping line area in danger and also affecting logistic distribution work rate in East Indonesia. One of the instruments that being used to detecting location of shipwreck is multibeam echosounder, using the working principle of accoustic wave to obtain bathymetry data and seabed's morphology detail.

From the results, the shipwreck of Tongkang Utama 9 has found already in the middle of shipping line area. The depth values of shipwreck also considered still safe for another ship which has draft up to 8.30 meters. But, Its location only 10.05 meters away from the axis of shipping line, so the traffic system of the shipping line in Surabaya West Access Channel must be changed from two way route into one way route for the greater good.

***Keywords: Bathymetry, Multibeam Echosounder, Shipwreck,
Surabaya West Access Channel***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DETEKSI KERANGKA KAPAL MENGGUNAKAN
DATA *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK
KESELAMATAN ALUR PELAYARAN
(Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada



Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD ILHAM FAHMI AL-AZHAR
NRP. 03311440000038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Yuwono, M.T.
NIP. 19590124 198502 1 001
2. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19800507 200312 1 001

(.....)
(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul “**Deteksi Kerangka Kapal Menggunakan Data *Multibeam Echosounder* untuk Keselamatan Alur Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)**” ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian ini, banyak sekali pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan secara moral maupun material. Atas segala bantuan dan dukungan tersebut, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang selama pelaksanaan tugas akhir hingga pembuatan laporan ini tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan doa kepada penulis. Khususnya teruntuk almarhumah Ibunda, Siti Intoifah.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Ir. Yuwono, M.T., selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan sarannya.
4. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan sarannya
5. Distrik Navigasi (DISNAV) Kelas I Surabaya, khususnya Bapak Shofa Dai Robbi, S.T. dan Bapak Toni Suhartono, selaku pembimbing instansi yang telah membantu penulis selama melaksanakan tugas akhir.
6. Teman-teman dari Departemen Teknik Geomatika ITS angkatan 2014 yang telah menemani selama ini.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sangat mengharapkan saran dan masukan sebagai pembelajaran bagi penulis untuk menjadi lebih baik lagi. Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 6 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN JUDUL..... | iii |
| ABSTRAK..... | v |
| ABSTRACT..... | vii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xv |
| DAFTAR TABEL..... | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | ix |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Hidrografi..... | 5 |
| 2.1.1 Hidrografi Secara Umum..... | 5 |
| 2.1.2 Batimetri sebagai Bagian dari Hidrografi..... | 5 |
| 2.2 Pengukuran Kedalaman Metode Akustik..... | 7 |
| 2.2.1 Prinsip Dasar Gelombang Akustik Bawah Air..... | 7 |
| 2.3 Sistem penentuan Posisi di Laut..... | 12 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.3.1 | Posisi Horizontal dengan <i>Global Positioning System</i> (GPS)..... | 12 |
| 2.4 | Alur Pelayaran | 12 |
| 2.4.1 | Spesifikasi Alur Pelayaran..... | 19 |
| 2.4.2 | Tingkat Gangguan Keselamatan Alur Pelayaran | 22 |
| 2.4.3 | Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) | 23 |
| 2.5 | Penelitian Terdahulu..... | 24 |
| BAB III | METODOLOGI..... | 27 |
| 3.1 | Lokasi Penelitian | 27 |
| 3.2 | Data dan Peralatan | 27 |
| 3.2.1 | Data..... | 27 |
| 3.2.2 | Peralatan | 28 |
| 3.3 | Metodologi Pekerjaan..... | 28 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 | Hasil | 33 |
| 4.1.1 | Posisi Kerangka Kapal..... | 33 |
| 4.1.2 | Dimensi Kerangka Kapal..... | 36 |
| 4.2 | Analisis..... | 37 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN..... | 53 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 53 |
| 5.2 | Saran..... | 54 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 55 |
| | LAMPIRAN..... | 61 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Propagasi Gelombang Akustik (Masetti, Sacile, dan Trucco 2011)..... | 8 |
| Gambar 2.2 | Prinsip Kerja <i>Multibeam Echosounder</i> (Masetti dan Calder 2012)..... | 10 |
| Gambar 2.3 | Prinsip Kerja RTK <i>Fix</i> DGPS | 14 |
| Gambar 2.4 | Penentuan Posisi Horizontal Titik <i>Sounding</i> dengan GPS | 15 |
| Gambar 2.5 | Skema Penentuan Kedalaman Alur Pelayaran (Rosdynur 2012) | 20 |
| Gambar 2.6 | Alur Pelayaran Satu Arah..... | 21 |
| Gambar 2.7 | Alur Pelayaran Dua Arah | 21 |
| Gambar 3.1 | Lokasi Penelitian (Peta Laut Indonesia Wilayah Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya) | 25 |
| Gambar 3.2 | Diagram Alir Tahapan Penelitian | 30 |
| Gambar 3.3 | Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data | 31 |
| Gambar 4.1 | Identifikasi Objek Kerangka Kapal pada Grid Model Batimetri <i>Multibeam Echosounder</i> (Google Earth 2018) | 33 |
| Gambar 4.2 | Perpindahan Posisi Awal Karam dengan Posisi Kerangka Kapal | 35 |
| Gambar 4.3 | Profil Memanjang Kerangka Kapal..... | 36 |
| Gambar 4.4 | Profil Melintang Kerangka Kapal..... | 37 |
| Gambar 4.5 | Kapal Tongkang (www.marineinsight.com 2016)..... | 38 |
| Gambar 4.6 | Model 3D Kerangka Kapal..... | 38 |
| Gambar 4.7 | Ilustrasi Besar Sudut Kemiringan Kerangka Kapal pada Profil Melintang (www.thingiverse.com 2017)..... | 39 |
| Gambar 4.8 | Perhitungan Besar Sudut Kemiringan α_1 dan α_2 | 39 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 4.9 | Ilustrasi Besar Sudut Kemiringan Kerangka Kapal pada Profil Memanjang (www.thingiverse.com 2017)..... | 40 |
| Gambar 4.10 | Perhitungan Besar Sudut Kemiringan α_3 dan α_4 | 40 |
| Gambar 4.11 | <i>Under Keel Clearances</i> | 42 |
| Gambar 4.12 | Posisi Kerangka Kapal Terhadap Alur Pelayaran..... | 45 |
| Gambar 4.13 | Posisi Kerangka Kapal Terhadap As Alur Pelayaran..... | 46 |
| Gambar 4.14 | Perhitungan Lebar Sisa Alur Pelayaran | 47 |
| Gambar 4.15 | <i>Advance</i> dan <i>Tactical Diameter</i> (www.marineinsight.com 2017)..... | 50 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Konstanta Batas Toleransi Kesalahan Ketelitian Kedalaman <i>Multibeam Echosounder</i> Berdasarkan SP-44 IHO | 12 |
| Tabel 2.2 | Penelitian Terdahulu | 25 |
| Tabel 3.1 | Spesifikasi Alat <i>Multibeam Echosounder</i> Teledyne Odom MB2 [®] | 28 |
| Tabel 4.1 | Koordinat Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 | 34 |
| Tabel 4.2 | Dimensi Kapal Tongkang Utama 9 | 36 |
| Tabel 4.3 | Sampel Koordinat Alur Pelayaran di Wilayah APBS | 45 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|--------------------|---|----|
| Lampiran 1. | Peta Lokasi Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 di APBS Skala 1 : 5.000 Dicitak pada Kertas Ukuran A3 | 61 |
| Lampiran 2. | Peta Kontur Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 di APBS Skala 1 : 1.000 Dicitak pada Kertas Ukuran A4 | 62 |
| Lampiran 3. | Batas Toleransi Kesalahan Ketelitian Kedalaman <i>Multibeam Echosounder</i> Berdasarkan S-44 IHO | 63 |
| Lampiran 4. | <i>Notice to Marine</i> (Berita Pelaut) Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 | 66 |
| Lampiran 5. | Surat Laut Kapal Tongkang Utama 9 | 67 |
| Lampiran 6. | Koreksi <i>Sound Velocity Profile</i> | 68 |
| Lampiran 7. | Koreksi Pasang Surut Air Laut Stasiun Pengamatan Dermaga Karang Jamuang | 69 |
| Lampiran 8. | Biodata Penulis | 71 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Laporan Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) periode 2010-2016, kecelakaan transportasi laut di Indonesia pada tahun 2016 merupakan yang tertinggi dalam tujuh tahun terakhir, dengan jumlah 15 kecelakaan atau mengalami kenaikan sebesar 36 persen dari tahun sebelumnya. Di wilayah Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS), terdapat 10 kerangka kapal (*shipwreck*) yang tertinggal di dasar laut akibat kecelakaan transportasi laut (Lampiran Dinas Hidrografi dan Oseanografi (DISHIDROS) 2013 Peta 96B). Kerangka kapal yang tertinggal di dasar laut tersebut menjadi objek yang harus diangkat berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 33 Tahun 2016 tentang *Salvage* dan/atau Pekerjaan Bawah Air agar tidak membahayakan keselamatan alur pelayaran. Metode yang sering digunakan untuk menginvestigasi kolom air dan dasar laut secara efisien dan akurat adalah Hidroakustik (Blondel 2009).

Metode Hidroakustik memanfaatkan gelombang suara yang mampu merambat hingga ke dasar laut dan beberapa lapisan di bawahnya, lalu dipantulkan kembali dan diterima sebagai pantulan balik (*echo*) (Urick 1967). Instrumen akustik seperti *multibeam echosounder* biasa digunakan untuk keperluan survei batimetri. Data batimetri dengan cakupan yang luas menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) yang dapat menampilkan detail morfologi *seabed* (Pickrill dan Todd 2003). Dalam beberapa dekade terakhir, data batimetri dengan resolusi spasial dan temporal yang bagus dimanfaatkan untuk keperluan studi oseanografi, seperti: perikanan, ekosistem rumput laut, sedimen tersuspensi, hingga deteksi kerangka kapal (Colbo dkk. 2014).

Survei batimetri menggunakan *multibeam echosounder* memudahkan proses pencarian kerangka kapal dibandingkan dengan metode konvensional, seperti penyelaman yang membutuhkan keahlian khusus serta keterbatasan manusia untuk dapat bertahan di dalam perairan (Simbolon 2014). Namun, perlu adanya studi lebih lanjut untuk melakukan validasi objek kerangka kapal tersebut, meliputi: pengukuran dimensi kapal, material penyusun kapal, kondisi kapal, survei menggunakan nilai frekuensi yang berbeda, serta rekonstruksi tiga dimensi citra dari *side scan sonar* (Ramadhani 2017). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai lokasi keberadaan kerangka kapal di dasar perairan dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder*. Kemudian, dilakukan analisis posisi kerangka kapal terhadap keselamatan alur pelayaran.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini rumusan masalah pada penelitian deteksi kerangka kapal menggunakan data *multibeam echosounder* untuk keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS:

- 1) Bagaimana tampilan bentuk objek kerangka kapal di wilayah APBS dari data *multibeam echosounder* pada peta batimetri?
- 2) Bagaimana analisis posisi kerangka kapal di wilayah APBS terhadap keselamatan alur pelayaran?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian deteksi kerangka kapal menggunakan data *multibeam echosounder* untuk keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS, yaitu:

- 1) Penelitian dilakukan di lokasi kerangka kapal pada wilayah APBS.

- 2) Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk proses pengolahan data adalah perangkat lunak pengolah data *multibeam echosounder*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian deteksi kerangka kapal menggunakan data *multibeam echosounder* untuk keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat peta batimetri yang memuat posisi dan tampilan bentuk objek kerangka kapal di wilayah APBS.
- 2) Membuat analisis posisi kerangka kapal di wilayah APBS terhadap keselamatan alur pelayaran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrografi

2.1.1 Hidrografi Secara Umum

Secara etimologi, kata “*hydrography*” berasal dari bahasa Prancis pada tahun 1665, yaitu “*hydrographique*” yang berhubungan dengan sifat dan pengukuran badan air, seperti: kedalaman dan arus (Merriam-Webster Online 2018). Menurut *International Hydrographic Organization* (IHO) pada *Special Publication Number 32* (SP-32) tahun 1994, hidrografi merupakan cabang ilmu terapan yang berhubungan dengan pengukuran serta pendeskripsian fitur fisik di laut dan wilayah pesisir, khususnya untuk keperluan navigasi. Seiring berkembangnya zaman, definisi hidrografi oleh IHO mengalami pergeseran makna dengan bertambahnya ruang lingkup hidrografi akibat munculnya aktivitas kemaritiman baru di wilayah laut, danau, pesisir, maupun sungai, seperti: *offshore*, penelitian ilmiah, pertahanan dan keamanan, serta perlindungan lingkungan; dengan keamanan bernavigasi sebagai tujuan utamanya.

2.1.2 Batimetri sebagai Bagian dari Hidrografi

Dalam hidrografi, studi tentang dasar badan air (laut, sungai, danau) alias “*seabed*” atau “*seafloor*” disebut batimetri (NOAA 2017). Berdasarkan IHO, survei batimetri digunakan untuk menentukan kedalaman laut melalui analisis profil data kedalaman. Prosedur survei batimetri sendiri telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7988:2014 yang mengadopsi dari *Special Publication Number Number 44* (SP-44) tahun 2008 milik IHO, dimana survei batimetri diklasifikasikan ke dalam empat jenis:

1) Orde Khusus

Orde paling teliti, digunakan untuk daerah sangat kritis dengan kedalaman di bawah lunas minimum dan membahayakan pelayaran. Selama kedalaman di bawah lunas membahayakan, maka orde ini tidak mungkin dilakukan di perairan lebih dalam dari 40 meter. Contoh: pelabuhan dan jalur kritis pelayaran.

2) Orde 1a

Ditujukan pada daerah laut dangkal kritis yang keberadaan unsur alam dan buatan manusia di dasar laut menjadi perhatian pada daerah pelayaran, tetapi kedalaman di bawah lunas cukup memadai dan tidak begitu membahayakan dibanding orde khusus. Survei orde ini berlaku terbatas di daerah dengan kedalaman 40 – 100 meter.

3) Orde 1b

Ditujukan pada daerah hingga kedalaman 100 meter yang tidak termasuk orde khusus maupun 1a. Gambaran batimetri secara umum sudah cukup meyakinkan bahwa tidak ada rintangan dasar laut yang membahayakan kapal lewat.

4) Orde 2

Diperuntukkan pada area yang tidak tercakup oleh orde khusus, 1a, dan 1b, atau kedalaman lebih dari 100 meter.

Peta batimetri memuat topografi dasar badan air, serta data kedalaman yang ditampilkan berdasarkan garis kontur dan pewarnaan gradien. Aturan pembuatan peta batimetri dapat ditemukan pada Peta Nomor 1 Republik Indonesia tentang Simbol-Simbol dan Singkatan Peta Laut terbitan DISHIDROS. Pengukuran kedalaman pada survei batimetri dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu: mekanik, optik, dan akustik (Poerbondono dan

Djunarsjah 2005). Penelitian ini hanya menitikberatkan pada pembahasan mengenai metode akustik saja.

2.2 Pengukuran Kedalaman Metode Akustik

2.2.1 Prinsip Dasar Gelombang Akustik Bawah Air

Gelombang akustik termasuk kedalam kategori gelombang mekanik karena perambatannya memerlukan suatu medium. Cepat rambat gelombang akustik pada suatu medium bergantung pada massa jenis medium yang dilaluinya dan dinyatakan melalui hubungan persamaan berikut (Lurton 2002):

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.1)$$

Dimana:

c : Cepat rambat gelombang akustik (m/s)

E : Modulus Bulk atau modulus elastisitas fluida (kg/m.s²)

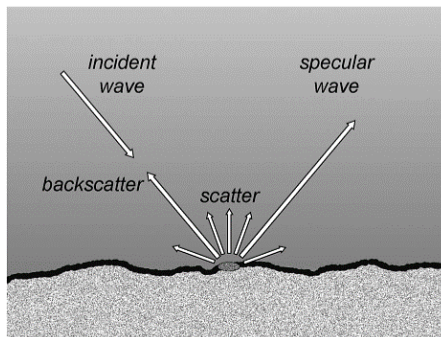
ρ : Densitas atau massa jenis fluida (kg/m³)

Prinsip dasar dari sistem akustik adalah dengan memanfaatkan suara untuk mendeteksi atau menemukan objek, khususnya di wilayah laut (Hansen 2011). Gelombang akustik yang dipancarkan oleh instrumen akustik akan dipantulkan oleh hambatan (*obstacle*) dari kondisi alam di kolom air dan pada batas permukaan antar medium. Energi gelombang akustik yang kembali dari *seabed* disebut *backscatter*. Nilai *backscatter* dipengaruhi oleh kondisi fisik alam pada *seabed*, serta berkaitan dengan karakteristik transmisi dan refleksi dari *incident signal* (*incidence angle* dan *pulse length*) (De Moustier 1986).

Ketika gelombang akustik bertemu dengan permukaan antara dua medium, maka gelombang akustik akan dibiaskan pada medium yang kedua serta dipantulkan dan menyebar pada medium yang pertama,

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Hal ini disebabkan oleh adanya *incidence angle*, yaitu impedansi akustik yang berbeda (hasil dari densitas sedimen, kecepatan suara, serta parameter lain dari tiap medium). Perbandingan antara intensitas akustik yang kembali dari sasaran ke arah sumber dan intensitas incident pada hambatan yang sama disebut *target strength* (TS), berkaitan dengan sifat fisik hambatan terhadap struktur dan karakteristik *incident signal* (sudut dan frekuensi). Selama propagasi, intensitas gelombang akustik yang ditransmisikan (*Source Level* (SL)) akan takluk oleh *transmission loss* (TL) karena tersebar secara geometris dan diserap oleh medium.

Peristiwa tersebut juga dinamakan sebagai pelemahan (*attenuation*), disebabkan oleh penyerapan energi untuk relaksasi molekul-molekul pada medium rambat (Lurton 2002). Laju pelemahan intensitas akustik disimbolkan sebagai “ α ” yang dinyatakan dalam dB/m. TS dapat dapat ditentukan menggunakan penampang *backscatter* yang terdiri dari dua bagian, yaitu: dimensi *seabed* yang terinsonifikasi oleh sistem akustik (As) dan *backscattering strength* (BSs) pada tiap unit area permukaan (Masetti, Sacile, dan Trucco 2011).



Gambar 2.1 Propagasi Gelombang Akustik
(Masetti, Sacile, dan Trucco. 2011)

Tingkat kekuatan sinyal *backscatter* (dalam Desibel) alias *echo level* (EL), dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan sonar monostatik berikut (Kinsler dkk. 2000):

$$EL = SL - 2TL + TS = SL - 2TL + 10\log_{10}A_s + BS_s \quad (2.2)$$

Dimana:

- EL : *Echo Level*, tingkat kekuatan sinyal *backscatter* (dB)
- SL : *Source Level*, intensitas gelombang akustik yang ditransmisikan (Watt)
- TL : *Transmission Losses* (dB/m)
- TS : *Target Strength*, perbandingan antara intensitas akustik yang kembali dari sasaran ke arah sumber dan intensitas *incident* pada *seabed*
- A_s : *Ensonified Area*, dimensi *seabed* yang terinsonifikasi oleh sistem akustik (m²)
- BS_s : *Backscattering Strength*, tingkat kekuatan *backscatter* pada tiap unit area permukaan (θ)

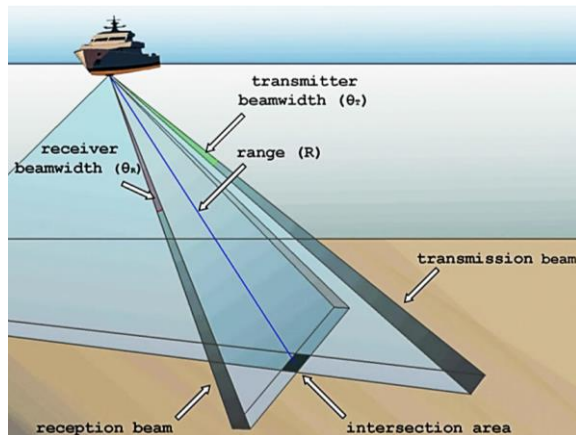
Frekuensi merupakan faktor terbesar pada laju pelemahan intensitas akustik (Poerbondono dan Djunarsjah 2005). Oleh karena itu, instrumen akustik frekuensi tinggi hanya bisa digunakan pada wilayah perairan dangkal, sedangkan instrumen akustik frekuensi rendah sangat sesuai untuk keperluan wilayah laut dalam. Pemanfaatan prinsip dasar gelombang akustik bawah air untuk mengukur kedalaman laut dapat dijumpai pada instrumen akustik, seperti: *multibeam echosounder*.

2.2.2 Multibeam Echosounder

Multibeam echosounder merupakan salah satu instrumen akustik yang memiliki kemampuan untuk melakukan pemetaan tiga dimensi terhadap dasar laut dengan titik deteksi yang rapat secara simultan dan cepat yang akan menghasilkan keakuratan yang tinggi

(Medwin dan Clay 1998). *Multibeam echosounder* pertama kali muncul pada akhir tahun 1970 (Renard dan Allenou 1979), dimana model pertamanya memiliki jumlah *beam* yang terbatas dengan performa yang sederhana, yaitu 16 *beam* dengan *swathwidth* sebesar 45° (Lurton 2002). *Multibeam echosounder* bekerja dengan cara mengirimkan sinyal akustik ke *seabed* lalu menerima pantulan balik dari sinyal akustik tersebut.

Beam yang dipancarkan (*transmission*) biasanya lebih besar pada arah melintang (*across-track*) dibandingkan dengan arah memanjang (*along-track*), begitupun sebaliknya pada bagian penerima (*reception*). Orientasi orthogonal pada *beam* yang dipancarkan dan yang diterima memungkinkan untuk menentukan lokasi spasial yang akurat pada setiap sumber pantulan balik. Sinyal akustik yang kembali diterima dari area perpotongan *beam* memuat dua jenis data: *two way travel time* dan nilai amplitudo sinyal *backscatter* (Masetti dan Calder 2012) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja *Multibeam Echosounder* (Masetti dan Calder 2012)

Kedalaman yang diperoleh dari *multibeam echosounder* diukur melalui cepat rambat gelombang akustik yang dipancarkan sampai diterima kembali, lalu dibagi dengan dua kali waktu yang dibutuhkan dalam perambatan (*two way travel time*), seperti yang dirumuskan pada persamaan berikut (Lurton 2002):

$$H = (c \cdot \Delta t) / 2 \quad (2.3)$$

Dimana:

H : Kedalaman (m)

c : Cepat rambat gelombang akustik (m/s)

t : Selang waktu transmisi gelombang akustik yang diterima kembali (s)

Berdasarkan S-44 IHO, batas toleransi kesalahan ketelitian kedalaman *multibeam echosounder* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4):

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

σ : Batas toleransi kesalahan ketelitian kedalaman *multibeam echosounder* (m)

a : faktor kesalahan yang tidak bergantung pada kedalaman (m)

b : Faktor kesalahan yang bergantung pada kedalaman

d : Kedalaman pengukuran (m)

$b \cdot d$: Kesalahan ketelitian kedalaman lain, jumlah semua kesalahan (m)

Untuk nilai masing-masing konstanta a dan b dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Konstanta Batas Toleransi Kesalahan
Ketelitian Kedalaman *Multibeam Echosounder*
Berdasarkan S-44 IHO

| Orde | a (m) | B |
|----------------|---------|--------|
| <i>Special</i> | 0.25 | 0.0075 |
| 1a | 0.5 | 0.013 |
| 1b | 0.5 | 0.013 |
| 2 | 1 | 0.023 |

2.2.3 Aplikasi *Multibeam Echosounder* untuk Deteksi Kerangka Kapal

Data batimetri *multibeam echosounder* telah digunakan pada beberapa penelitian untuk mendeteksi kerangka kapal maupun situs purbakala yang tertinggal di *seabed* (Bates dkk. 2011). Data batimetri dengan cakupan yang luas menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) yang dapat menampilkan detail morfologi *seabed* (Pickrill dan Todd 2003). Data kolom air yang diperoleh dengan *multibeam echosounder* juga dapat digunakan untuk menentukan ketinggian absolut dari *seabed*. Metode ini ideal untuk melakukan deteksi kerangka kapal karena struktur utama kerangka kapal akan terlihat jelas walaupun tidak dapat dipercaya seutuhnya karena *beamwidth* yang terbatas dan artefak *sidelobe* yang palsu (Hughes Clarke, Lamplugh, dan Czotter 2006).

2.3 Sistem penentuan Posisi di Laut

2.3.1 Posisi Horizontal dengan *Global Positioning System* (GPS)

Penentuan posisi horizontal dalam pengukuran kedalaman laut diperlukan agar setiap titik pemeruman dapat diplot pada sistem koordinat. Alat yang digunakan untuk menentukan posisi titik-titik pemeruman tersebut adalah *Global Positioning System* (GPS). Umumnya,

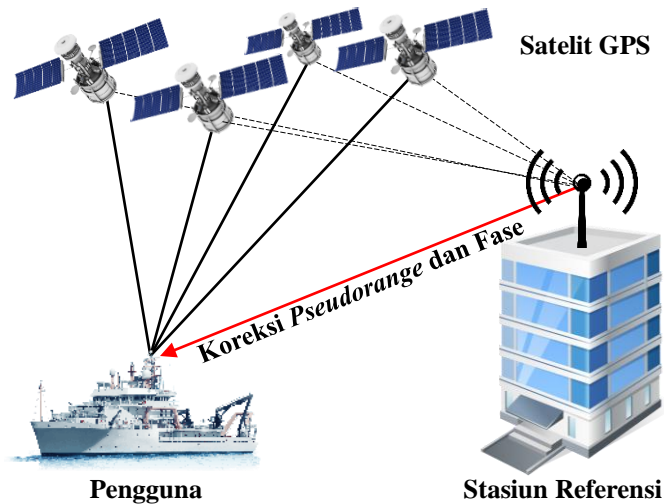
sistem koordinat untuk sistem penentuan posisi di laut menggunakan sistem koordinat geografis dan kartesian. Untuk bisa menerima sinyal dari satelit menggunakan receiver, dibutuhkan jumlah satelit yang cukup (minimal empat buah) sehingga posisi pengamat diketahui (Abidin 2005).

Aplikasi GPS dalam survei hidrografi saat ini digunakan untuk menentukan posisi titik kontrol di pantai, navigasi kapal survei (vessel), posisi titik perum (sounding), posisi sensor hidrografi dan oseanografi, serta menentukan posisi struktur atau objek di laut seperti wahana pengeboran (*rig*). Terkait dengan aktivitas pemetaan di laut tersebut, metode penentuan posisi yang digunakan pada umumnya adalah sebagai berikut (Abidin 2005):

- 1) Metode survei GPS, untuk penentuan posisi titik kontrol di pantai. Prinsipnya adalah dengan menggunakan metode penentuan posisi statik secara diferensial menggunakan data fase.
- 2) Metode kinematik, untuk penentuan posisi *receiver* GPS yang bergerak dan menuntut informasi posisi secara instan (*real-time*). Sistem *Differential Global Positioning System* (DGPS) digunakan untuk aplikasi yang memiliki tingkat ketelitian menengah (level 1-3 meter), dengan memanfaatkan data *pseudorange*. Sedangkan sistem *Real Time Kinematic* (RTK) digunakan untuk aplikasi dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi (level 1-5 sentimeter), dengan memanfaatkan data fase dan *pseudorange*.

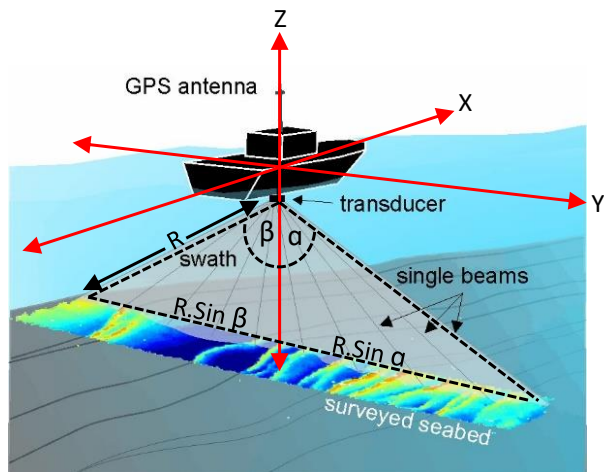
Data *positioning* yang diperoleh pada penelitian ini menggunakan metode kinematik dengan sistem RTK *fix* DGPS. Ada tiga komponen utama dalam sistem DGPS, yaitu: satelit GPS, stasiun referensi, dan pengguna. Untuk merealisasikan tuntutan *real time*-nya, maka stasiun referensi harus mengirimkan koreksi diferensial ke

pengguna secara *real time* pula, menggunakan sistem komunikasi data tertentu (Abidin 2005). Contoh dari stasiun referensi adalah *Radio Technical Commission of Maritime Service* (RTCM), sebuah organisasi non-profit yang menyediakan layanan yang terkait dengan komunikasi dan navigasi (ESRI 2018). Koreksi diferensial yang dikirimkan dapat berupa koreksi *pseudorange* (umum) maupun koordinat (jarang digunakan). Koreksi koordinat jarang digunakan karena menuntut stasiun referensi dan pengguna agar mengamati set satelit yang sama, dimana hal ini sulit untuk direalisasikan dalam praktek di lapangan. Dengan tingkat ketelitian yang cukup baik, sistem DGPS cocok digunakan pada survei kelautan. Berdasarkan cakupan wilayah koreksinya, sistem DGPS terbagi menjadi dua, yaitu: *Local Area DGPS* (LADGPS) dan *Wide Area DGPS* (WADGPS).



Gambar 2.3 Prinsip Kerja RTK *Fix* DGPS

GPS yang sudah terintegrasi dengan *transducer* (*multibeam echosounder*) dapat digunakan untuk menampilkan posisi horizontal titik-titik hasil *sounding* ke dalam suatu sistem koordinat, ilustrasi bisa dilihat pada Gambar 2.4. Mula-mula, hasil *sounding* berupa nilai kedalaman atau jarak (R) hasil dari perkalian antara cepat rambat gelombang akustik dengan selang waktu transmisi gelombang akustik yang diterima kembali. *Beam* yang dipancarkan oleh *multibeam echosounder* diterima kembali melalui berbagai arah dengan membentuk sudut tertentu (α dan β). Berdasarkan kaidah trigonometri, besar sudut tersebut dapat digunakan untuk mengetahui jarak suatu titik *sounding* terhadap nadir ($R \cdot \sin \alpha$ dan $R \cdot \sin \beta$). Dengan demikian, penentuan posisi horizontal titik-titik *sounding* bisa diperoleh dari besar *offset* antara posisi *transducer* dengan posisi GPS pada kapal (*vessel*).



Gambar 2.4 Penentuan Posisi Horizontal Titik *Sounding* dengan GPS

2.3.2 Posisi Vertikal dengan Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut adalah fenomena naik-turunnya permukaan air laut secara periodik akibat pengaruh gravitasi benda-benda langit, khususnya Bulan dan Matahari. Walaupun ukuran Matahari lebih besar, tetapi andil Bulan dalam terjadinya pasang surut air laut lebih dominan karena jarak yang lebih dengan Bumi. Hubungan antara pasang surut air laut di Bumi, dengan gaya tarik oleh Bulan dan Matahari bisa dilihat dalam persamaan teori gravitasi universal milik Sir Isaac Newton seperti berikut (Poerbondono dan Djunarsjah 2005):

$$F = G \cdot ((m_1 \cdot m_2) / r^2) \quad (2.5)$$

Dimana:

- F : Gaya tarik-menarik yang dihasilkan (N)
 G : Konstanta gravitasi ($G = 6,72 \times 10^{-11}$
 $\text{N.m}^2.\text{kg}^{-2}$)
 m_1, m_2 : Massa benda (kg)
 r : Jarak antar benda (m)

Berdasarkan persamaan (2.5) di atas, maka rasio massa Bulan dan massa Bumi sekitar 1 : 85, sedangkan rasio massa Bulan dan massa Matahari adalah 1 : 3,18 x 10⁵. Jarak rata-rata pusat massa Bumi dengan pusat massa Matahari sekitar 98.830.000 mil, sedangkan jarak rata-rata pusat massa Bumi dengan pusat massa Bulan adalah 238.862 mil. Dampaknya, perbandingan gravitasi antara Bulan dan Matahari (terhadap Bumi) masing-masing sebesar 1 : 0,46 (Poerbondono dan Djunarsjah 2005).

Fenomena pasang surut air laut menyebabkan adanya perbedaan tinggi permukaan air laut pada waktu tertentu. Oleh karena itu, perlu adanya pengamatan pasang surut air laut untuk mengetahui data tinggi

permukaan air laut di suatu lokasi. Cara paling sederhana adalah dengan menggunakan palem pasang surut air laut atau disebut juga sebagai rambu ukur. Tinggi permukaan air laut diamati secara manual dan dicatat pada formulir pengamatan dengan interval waktu selama 15, 30, atau 60 menit.

Untuk cara yang lebih modern, digunakan alat mekanik bernama *tide gauge*. Prinsip kerjanya sederhana, mengamati naik-turunnya gerakan air laut yang dideteksi dengan sebuah pelampung yang digantung pada kawat baja, lalu kawat tersebut tersambung pada sebuah pena yang nantinya menggoreskan tinta pada kertas perekam data yang digulungkan pada suatu silinder. Pengembangan dari sistem ini adalah dengan penggunaan sensor akustik dan optik untuk melakukan perekaman secara digital (Poerbondono dan Djunarsjah 2005).

Permukaan air laut digunakan sebagai acuan tinggi nol untuk penentuan kedalaman pada survei hidrografi. Tinggi titik di pantai atau kedalaman titik di laut hanya dapat ditentukan secara relatif terhadap bidang referensi tinggi alias datum vertikal. Standar lama waktu minimal pengamatan pasang surut air laut untuk bisa memperoleh nilai datum vertikal adalah 30 hari (29 piantan) (SNI 7988:2014 tentang Survei Batimetri Menggunakan *Multibeam Echosounder*).

Datum vertikal ditentukan dengan merata-ratakan data pasang surut air laut sepanjang waktu pengamatan. Untuk keperluan navigasi, digunakan muka air terendah sebagai datum vertikal, dinyatakan sebagai angka-angka dan garis kontur kedalaman pada peta navigasi laut. Muka air terendah atau *Lowest Water Level* (LWL) dipilih agar tidak terjadi suatu keadaan dimana angka kedalaman yang tercantum di peta lebih kecil dari kedalaman aktual sehingga menjamin keselamatan

pelayaran. Datum vertikal ini disebut sebagai muka surutan (*chart datum*). Nilai *chart datum* diperoleh berdasarkan nilai amplitudo komponen-komponen pasang surut air laut yang diekstrak dari analisis harmonik terhadap data pengamatan pasang surut air laut (Poerbondono dan Djunarsjah 2005).

Data hasil survei batimetri yang dilakukan tidak bisa langsung digunakan karena masih perlu dikoreksi dengan nilai pasang surut air laut yang didapatkan dari pengolahan data komponen pasang surut untuk menghasilkan nilai kedalaman yang sebenarnya. Besarnya koreksi pasang surut air laut adalah nilai kedalaman (yang telah terkoreksi *transducer*) yang akan dikoreksi dengan nilai reduksi pada kedudukan permukaan laut saat pengukuran berlangsung (Rinaldy dkk. 2014).

Rumus koreksi pasang surut air laut adalah sebagai berikut (Soeprapto 1999 dalam Rinaldy dkk. 2014):

$$rt = TWLt - MSL + Z0 \quad (2.6)$$

Dimana:

rt : Besarnya reduksi pada data pengukuran (kedalaman) (m)

TWLt : Tinggi kedudukan muka laut pada waktu pengukuran (muka laut sesaat) (m)

MSL : Tinggi kedudukan muka air laut rata-rata (m)

Z0 : Tinggi kedudukan muka surutan ke MSL (m)

Setelah semua data kedalaman dilakukan koreksi pasang surut air laut, langkah selanjutnya adalah dilakukan koreksi *transducer*. Data pengukuran terlebih dahulu ditambahkan terhadap nilai kedalaman *transducer* pada badan kapal (*draft*), kemudian hasil tersebut dikurangkan terhadap nilai koreksi pasang surut air laut untuk mendapatkan nilai kedalaman yang

sebenarnya dengan rumusan sebagai berikut (Soeprapto 1999 dalam Rinaldy dkk. 2014):

$$D = dT - rt \quad (2.7)$$

Dimana:

D : Kedalaman sebenarnya (m)

dT : Kedalaman setelah penambahan nilai *draft* (m)

rt : Reduksi data pengukuran kedalaman (m)

Untuk mengetahui posisi nol palem pasang surut air laut terhadap suatu titik di pantai yang telah ditentukan, maka dilakukan suatu prosedur pengikatan palem pasang surut air laut terhadap titik pengikatan (*benchmark*) tersebut. Pengikatan yang dimaksud dapat dilakukan dengan menggunakan alat sipat datar (*waterpass*) untuk mengetahui besar nilai beda tinggi nol palem pasang surut air laut terhadap titik ikat. Jika selisih tinggi palem pasang surut air laut terhadap tinggi titik ikat sudah diketahui, maka selisih tinggi tersebut nantinya akan digunakan untuk mendefinisikan tinggi titik ikat itu sendiri setelah diperoleh nilai datum vertikal dari proses pengamatan pasang surut air laut (Poerbondono dan Djunarsjah 2005).

2.4. Alur Pelayaran

2.4.1 Spesifikasi Alur Pelayaran

Keselamatan alur pelayaran merupakan prioritas utama dalam kegiatan transportasi laut yang tidak lepas dari pekerjaan survei hidrografi. Oleh karena itu, beberapa aspek pada alur pelayaran, seperti: kedalaman, panjang, dan lebar menjadi persyaratan yang penting (Darmawan 2016). Standar alur pelayaran setiap pelabuhan berbeda-beda, tergantung pada nilai kedalaman yang tidak boleh kurang dari ukuran *draft* kapal yang melewati alur pelayaran di wilayah tersebut. Sehingga setiap pelabuhan memiliki klasifikasi tersendiri

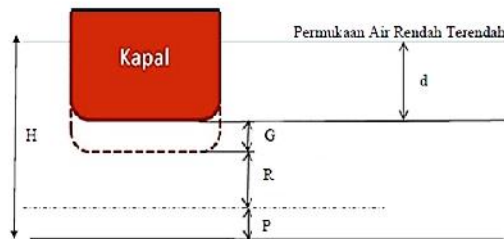
terhadap kapal-kapal yang akan melewati alur pelayaran pelabuhan.

Untuk memperoleh kondisi alur pelayaran yang aman, kedalaman air di alur pelayaran harus cukup besar untuk memungkinkan pelayaran pada muka air terendah (LWL) dengan batas muatan kapal maksimum terbesar yang melewatinya. Kedalaman alur pelayaran secara umum dirumuskan pada persamaan berikut (Rosdynur 2012):

$$H = d + G + R + P \quad (2.8)$$

Dimana:

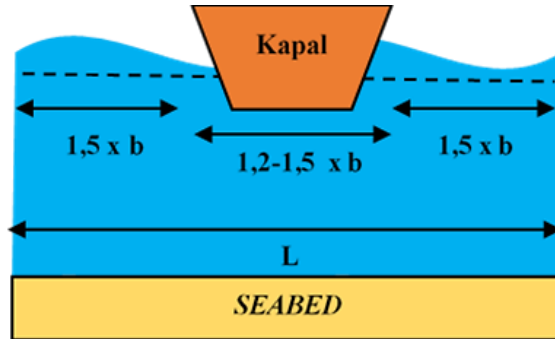
- H : Kedalaman alur (m)
- d : *Draft* kapal (m)
- G : Gerak vertikal kapal karena gelombang dan *squat* (m)
- R : Ruang bebas bersih 10-15% dari *draft* kapal (m)
- P : Ketelitian pengukuran (m)



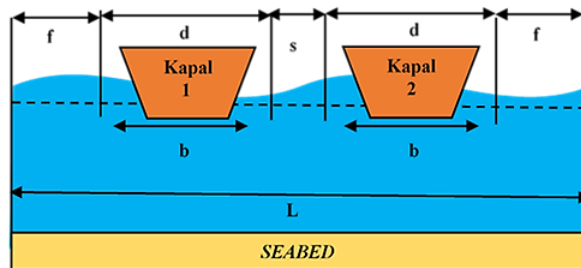
Gambar 2.5 Skema Penentuan Kedalaman Alur Pelayaran (Rosdynur 2012)

Dalam penentuan lebar alur pelayaran, perencana harus mengetahui besaran kapal yang akan dilayani serta jenis lalu lintas, yaitu sistem rute satu arah atau dua arah. Bila lebar kapal (B), maka lebar jalur lalu lintas ($120\% \times B$) dan jalur pengaman ($150\% \times B$)

(Kramadibrata 2002). Skema jalur lalu lintas pelayaran ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.6 Alur Pelayaran Satu Arah



Gambar 2.7 Alur Pelayaran Dua Arah

Dimana:

- b : Lebar kapal yang direncanakan lewat (m)
- d : Lebar pergerakan horizontal kapal akibat arus
($1,2-1,5 \times b$) (m)
- s : Faktor pengaman antara dua kapal ($1 \times b$) (m)
- f : Faktor pengaman antara sisi alur ($1,5 \times b$) (m)
- L : Lebar alur pelayaran ($2d + 2f + s$) (m)

Jika ditinjau berdasarkan Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi milik Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut – Departemen Perhubungan Tahun 2006, spesifikasi

untuk menentukan lebar alur pelayaran berdasarkan jenis lalu lintasnya (sistem rute satu arah maupun sistem rute dua arah) telah diatur pada pasal 8. Pada pasal 8, tercantum bahwa lebar alur dihitung berdasarkan lebar atau panjang kapal. Untuk sistem rute satu arah, dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$L = 2B + 30 \text{ meter} \quad (2.9)$$

Sedangkan lebar alur untuk sistem rute dua arah, bisa diperoleh dari perhitungan di bawah ini:

Untuk daerah kapal sering berpapasan:

$$L = 4B + 30 \text{ meter} \quad (2.10)$$

Untuk daerah kapal jarang berpapasan:

$$L = 3B + 30 \text{ meter} \quad (2.11)$$

Dimana:

L : Lebar alur pelayaran (m)

B : Lebar kapal (m)

2.4.2 Tingkat Gangguan Keselamatan Alur Pelayaran

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia no. 71 Tahun 2013 tentang *Salvage* dan/atau Pekerjaan Bawah Air, tingkat gangguan keselamatan alur pelayaran akibat adanya kerangka kapal ditetapkan berdasarkan lokasi kerangka kapal dan/ atau muatannya, jenis dan ukuran kerangka kapal, daerah sensitif di sekitar kerangka kapal, kepadatan lalu lintas pelayaran, jenis dan jumlah muatan pada pasal 9 sebagai berikut:

- 1) Tingkat gangguan I, apabila kerangka kapal dan/ atau muatannya berada di perairan pada Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) pelabuhan.
- 2) Tingkat gangguan II, apabila kerangka kapal dan/atau muatannya berada di perairan di luar Daerah

Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) pelabuhan.

- 3) Tingkat gangguan III, apabila kerangka kapal dan/atau muatannya berada di perairan laut lepas yang kedalamannya seratus meter ke atas (≥ 100 meter).

Jangka waktu penyingkiran kerangka kapal harus dilakukan paling lama 180 hari kalender sejak kapal kandas atau tenggelam sesuai penetapan tingkat gangguan keselamatan berlayar pada pasal 14 ayat satu sebagai berikut:

- 1) Lokasi tingkat gangguan I, penyingkiran dilakukan paling lama 30 hari kalender.
- 2) Lokasi tingkat gangguan II, penyingkiran dilakukan paling lama 60 hari kalender.
- 3) Lokasi tingkat gangguan III, penyingkiran dilakukan paling lama 90 hari kalender.

Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) adalah wilayah perairan dan daratan pada pelabuhan atau terminal khusus yang digunakan secara langsung untuk kegiatan pelabuhan. Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) adalah perairan di sekeliling Daerah Lingkungan Kerja perairan pelabuhan yang dipergunakan untuk menjamin keselamatan pelayaran.

2.4.3 Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 33 Tahun 2016 tentang *Salvage* dan/atau Pekerjaan Bawah Air, Alur Pelayaran adalah perairan yang dari segi kedalaman, lebar, dan bebas hambatan pelayaran lainnya dianggap aman dan selamat untuk dilayari. Alur pelayaran berfungsi untuk memberikan jalan kepada kapal agar dapat memasuki wilayah pelabuhan dengan aman dan mudah. Karena perbedaan antara perkiraan dan fakta dilapangan, maka penyediaan

alur perlu dilakukan untuk mengantisipasi kehadiran kapal-kapal besar (Achmad 2011 dalam Wahyuni, Armono, dan Sujantoko 2013). Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) merupakan salah satu alur pelayaran penting di Indonesia. APBS merupakan pintu gerbang menuju ke beberapa pelabuhan di daerah Surabaya dan Gresik, serta muara dari sejumlah aliran sungai besar, seperti Sungai Kalimas, Kali Lamong dan Bengawan Solo (Rosyidi, Achmadi, dan Pratidinatri 2017). Efektifitas APBS sangat mempengaruhi kestabilan dan kelancaran arus logistik di Jawa Timur, hal ini sangat vital karena berdampak bagi kelancaran logistik di kawasan Indonesia Timur.

Hingga kini, kedalaman APBS berkisar antara 9,55 meter - 10,5 meter dan akan direvitalisasi menjadi kedalaman 14 meter (Wahyuni, Armono, dan Sujantoko 2013). APBS memiliki dua percabangan, yaitu alur lama dan alur baru. Untuk alur lama, kondisi kedalaman minimal sebesar 8,4 meter dengan panjang 4,2 *nautical miles* atau setara dengan 7,7 kilometer. Sedangkan alur baru, kondisi kedalaman minimalnya sebesar 13 meter dengan panjang 39,65 *nautical miles* atau setara dengan 73,5 kilometer. Jenis lalu lintas yang dipakai adalah sistem rute dua arah dengan lebar 150 meter (Keputusan Menteri Perhubungan No. 455 Tahun 2016 tentang Penetapan Alur Pelayaran, Sistem Rute, Tata Cara Berlalu Lintas, dan Daerah Labuh Kapal Sesuai dengan Kepentingannya di APBS).

2.5. Penelitian Terdahulu

Berikut ini beberapa penelitian tentang deteksi kerangka kapal dengan menggunakan metode akustik yang pernah dilakukan, baik di dalam maupun di luar negara Indonesia:

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

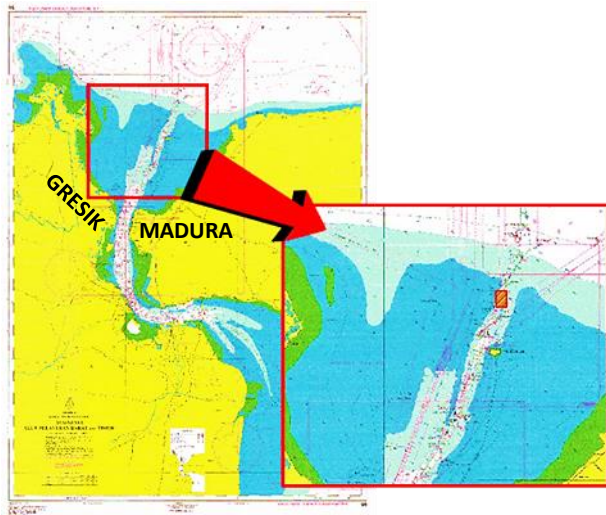
| No. | Tahun | Judul dan Peneliti | Inti Penelitian |
|-----|-------|--|--|
| 1. | 2011 | <i>Remote Characterization of Seafloor Adjacent to Shipwrecks Using Mosaicking and Analysis of Backscatter Response</i> (Guiseppe Masetti, Roberto Sacile, dan Andrea Trucco) | Analisis <i>angular response backscatter</i> untuk klasifikasi kondisi <i>seabed</i> yang berdekatan dengan kerangka kapal |
| 2. | 2012 | <i>Remote Identification of a Shipwreck Site from MBES Backscatter</i> (Guiseppe Masetti dan Brian Calder) | Identifikasi kerangka kapal menggunakan data <i>backscatter</i> MBES yang terkoreksi geometrik dan radiometric |
| 3. | 2014 | Aplikasi Instrumen <i>Multibeam Sonar</i> dan <i>Side Scan Sonar</i> untuk Deteksi Kapal Karam (Contoh Studi Kapal Bahuga Jaya di Perairan Selat Sunda) (Sumiharjon Simbolon) | Deteksi kerangka kapal Bahuga Jaya di Selat Sunda, berdasarkan analisis nilai <i>backscatter side scan sonar</i> |
| 4. | 2017 | Deteksi dan Pengukuran Sinyal Hambur Balik dari Kapal Karam Menggunakan Instrumen <i>Side Scan Sonar</i> di Perairan Cirebon (Ragil Ramadhani) | Deteksi kerangka kapal berdasarkan analisis nilai <i>backscatter</i> di Perairan Cirebon. |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sekitar area yang diduga terdapat objek kerangka kapal yang berpotensi membahayakan keselamatan alur pelayaran di wilayah Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) – Pelabuhan Tanjung Perak, dengan rincian koordinat sebagai berikut: 6°54'7,20" LS - 6°53'34,80" LS / 112°43'51,60" BT - 112°44'13,20" BT.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Peta Laut Indonesia Wilayah Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya Skala 1 : 75.000)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Data batimetri (*.pds)
- 2) Data *positioning* (koordinat lintang-bujur, *heading* kapal, dan tinggi GPS)
- 3) Data pasang surut air laut (*.tdg)
- 4) Data profil kecepatan suara (*.svp)
- 5) Data dimensi kapal
- 6) Data Peta Laut Indonesia (PLI) wilayah Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya skala 1 : 75.000

3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Perangkat Keras (*Hardware*)
 - a) *Multibeam echosounder* Teledyne Odom MB2[®] dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat
Multibeam Echosounder Teledyne Odom MB2[®]

| | |
|--|---|
| Frekuensi | 200 – 460 kHz |
| <i>Swath Width</i> | 10° – 140° |
| <i>Beam Width</i> | <i>Along Track</i> 1.8° – <i>Across Track</i> 1.8° |
| <i>Range Resolution</i> | 2 cm |
| Maks. <i>Ping Rate</i> | 60 Hz |
| Jumlah <i>Beam</i> | 10 – 256 |
| Maks. Kedalaman <i>Sounding</i> (Nadir) | 200 m |
| Produk Data | Batimetri, Kolom Air, <i>Side Scan Sonar</i> , |
| Dimensi | 286 x 260 x 140 mm |
| Berat | 11,3 kg |
| Berat di Air | 4,9 kg |
| Daya | 15 – 30 Watt |
| Lingkungan Survei | Kedalaman maks. 100 m, Suhu -5° – 65° C |

- b) *Global Positioning System* (GPS) Trimble 4000® sebagai sistem penentuan posisi selama survei.
 - c) *Tide gauge* Thalimedes dan palem (rambu) pasang surut air laut di Dermaga Karang Jamuang untuk pengamatan nilai pasang surut air laut pada 16 Agustus 2017.
 - d) *Conductivity, temperature, and depth* (CTD) Valeport miniSVS® untuk mengetahui profil kecepatan suara di sekitar area survei.
 - e) Laptop Lenovo ideapad 310 untuk pengolahan data, analisa data, dan pembuatan laporan.
- 2) Perangkat Lunak (*Software*)
- a) Teledyne PDS®

3.3 Metodologi Pekerjaan

Tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini seperti yang tertera dalam diagram alir pada Gambar 3.2. Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 3.2:

1) Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a) Rumusan Masalah

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi awal perumusan masalah yang akan diselesaikan, yaitu deteksi kerangka kapal menggunakan data *multibeam echosounder* untuk keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS.

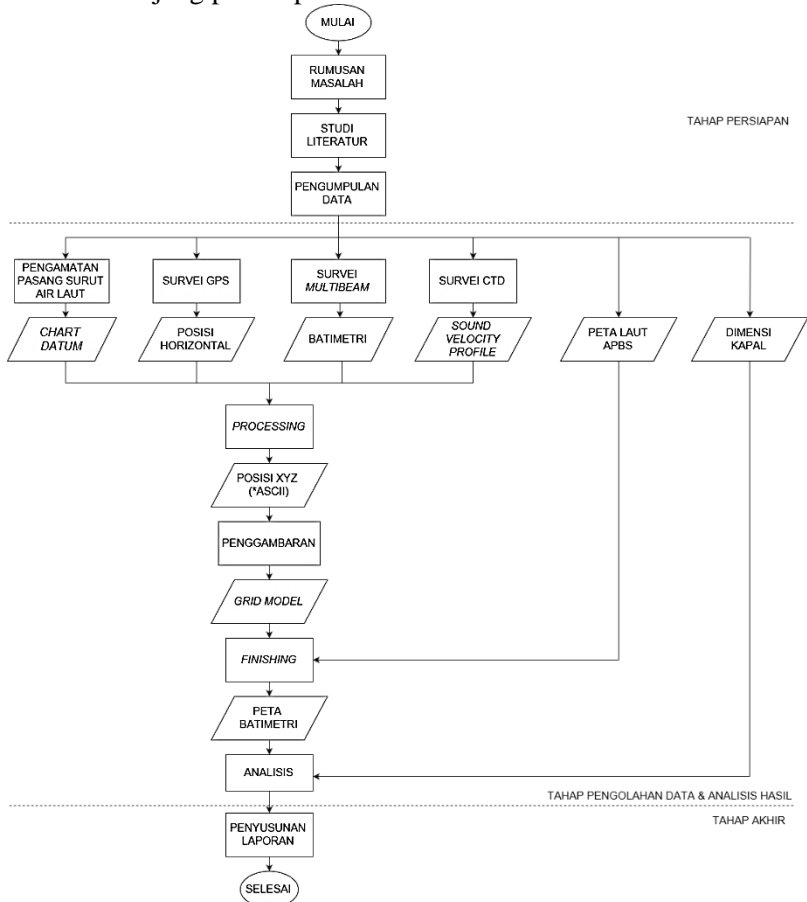
b) Studi Literatur

Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh referensi yang menunjang kegiatan penelitian, berupa: teori, rumus, maupun data dari berbagai sumber (buku, jurnal, internet, dan lain-lain). Referensi-referensi yang digunakan berhubungan dengan analisis data *multibeam echosounder* untuk deteksi kerangka kapal serta kaitannya

dengan keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS.

c) Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data diperlukan untuk mencari data-data pokok yang dijadikan bahasan penelitian. Data tersebut dapat berupa angka maupun grafis yang menunjang proses penelitian.

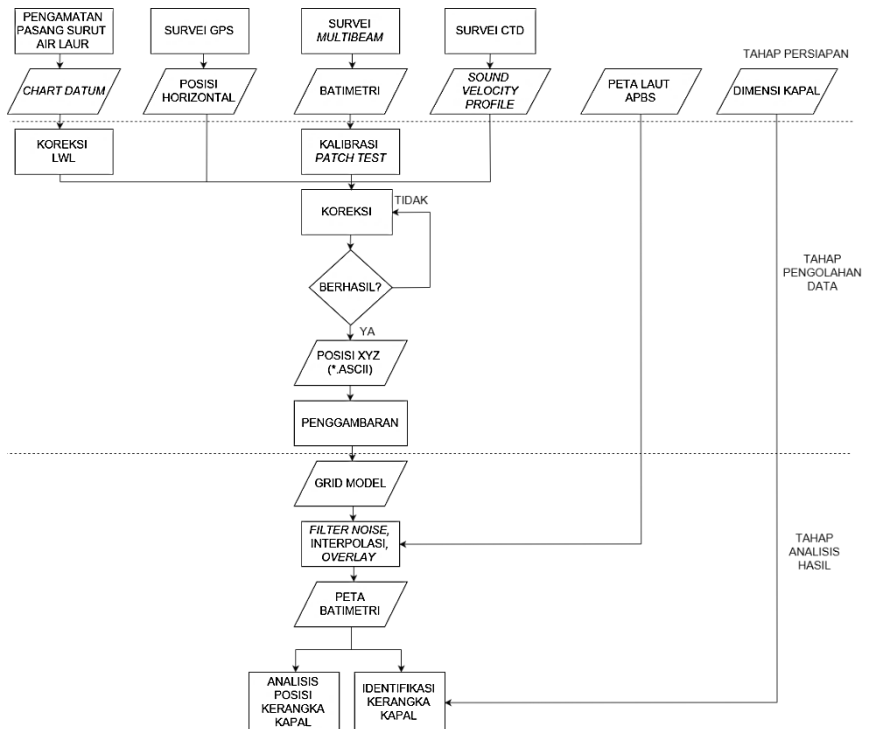


Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Adapun data yang digunakan antara lain data *multibeam echosounder*, data *positioning*, data pasang surut air laut, dan data profil kecepatan suara dari hasil survei batimetri di lokasi kerangka kapal pada wilayah APBS, serta data dimensi kapal sebelum karam.

2) Tahap Pengolahan Data dan Analisis Hasil

Adapun alur dari tahap pengolahan data dan analisis hasil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahap pengolahan data:

1) Tahap Persiapan

Pada tahap ini, mencakup pengumpulan data kedalaman dan penampakan kondisi kerangka kapal menggunakan data batimetri dari *multibeam echosounder*, data *positioning* dari DGPS Trimble, data pasang surut air laut dari tide gauge, data profil kecepatan suara dari CTD, data Peta Laut Indonesia (PLI) wilayah APBS, serta data dimensi kapal.

2) Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data batimetri yang akan dianalisis hasilnya. Secara garis besar, kegiatan pengolahan data meliputi: Koreksi kedalaman yang mengacu pada LWL, kalibrasi *patch test* (nilai *pitch*, *roll*, dan *yaw motion sensor*) untuk menghilangkan kesalahan sistematis, memperoleh data waktu dan posisi (*.ASCII), lalu penggambaran grid model kerangka kapal dari data batimetri.

3) Tahap Analisis Hasil

Pada tahap ini, dilakukan proses *finishing* terhadap grid model kerangka kapal dari data batimetri, meliputi: *filter noise*, interpolasi, serta *overlay* PLI APBS. Setelah dibuat peta batimetri-nya, dilakukan analisis posisi kerangka kapal pada grid model dari data batimetri terhadap keselamatan alur pelayaran, serta identifikasi kerangka kapal berdasarkan ukuran dari data dimensi kerangka kapal sebelum kecelakaan. Hasil akhir dari penelitian ini berupa peta batimetri yang memuat posisi kerangka kapal di wilayah APBS.

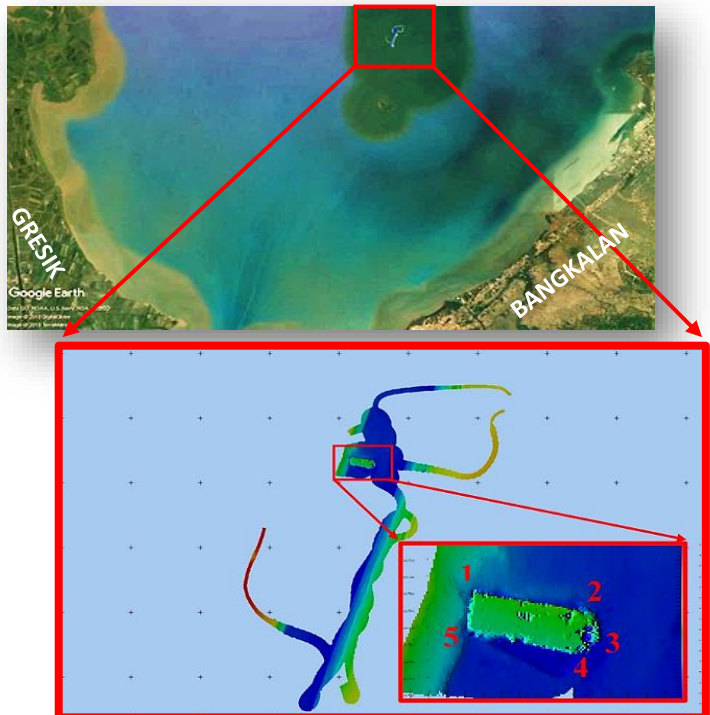
4) Tahap Akhir

Pada tahap ini, dilakukan penulisan laporan tugas akhir dari semua tahapan kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Posisi Kerangka Kapal



Gambar 4.1 Identifikasi Objek Kerangka Kapal
pada Grid Model Batimetri
Multibeam Echosounder (Google Earth 2018)

Proses identifikasi objek kerangka kapal dilakukan pada grid model batimetri *multibeam echosounder* dengan cara mencari objek yang memiliki bentuk menyerupai kapal. Proses awal ini bertujuan untuk memastikan keberadaan objek kerangka kapal (dalam hal

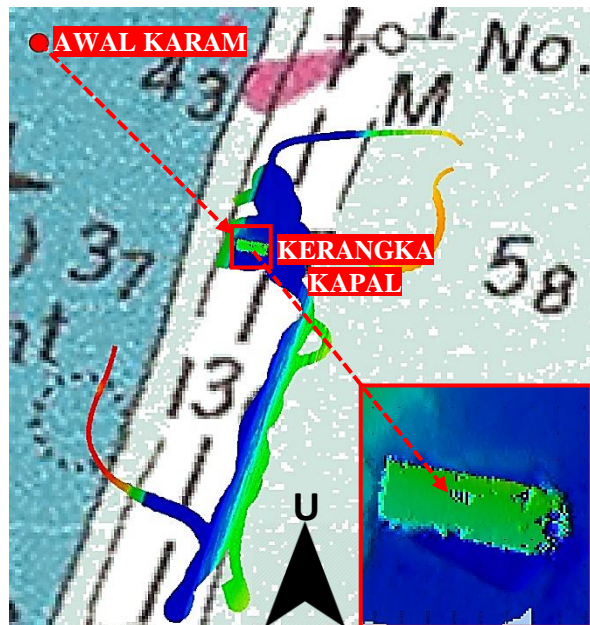
ini kapal Tongkang Utama 9) di wilayah APBS agar bisa dianalisis dampak yang ditimbulkan bagi keselamatan alur pelayaran. Pada Gambar 4.1 di atas, posisi horizontal kerangka kapal Tongkang Utama 9 disajikan dengan sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) yang terletak di zona 49S dan sistem koordinat geografis. Untuk posisi vertikal kerangka kapal Tongkang Utama 9, nilai kedalaman (Z) sudah berdasarkan chart datum *Lowest Water Level* (LWL), serta mengacu pada datum *World Geodetic System 1984* (WGS 84). Rincian koordinat kerangka kapal bisa dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Koordinat Kerangka Kapal
Tongkang Utama 9

| | | |
|---|---------|-------------------|
| 1 | X | 691435,80 meter |
| | Y | 9237479,40 meter |
| | Lintang | 6°53'43,024" LS |
| | Bujur | 112°43'57,277" BT |
| | Z | -11,01 meter |
| 2 | X | 691499,60 meter |
| | Y | 9237466,40 meter |
| | Lintang | 6°53'43,442" LS |
| | Bujur | 112°43'59,356" BT |
| | Z | -11,05 meter |
| 3 | X | 691503,70 meter |
| | Y | 9237453,40 meter |
| | Lintang | 6°53'43,866" LS |
| | Bujur | 112°43'59,493" BT |
| | Z | -12,17 meter |
| 4 | X | 691495,50 meter |
| | Y | 9237446,50 meter |
| | Lintang | 6°53'44,090" LS |
| | Bujur | 112°43'59,227" BT |
| | Z | -11,79 meter |

| | | |
|---|---------|-------------------|
| 5 | X | 691434,50 meter |
| | Y | 9237458,50 meter |
| | Lintang | 6°53'43,706" LS |
| | Bujur | 112°43'57,239" BT |
| | Z | -11,67 meter |

Ditinjau berdasarkan posisi terakhir ketika kapal Tongkang Utam 9 masih terlihat mengapung di permukaan dan belum tenggelam seutuhnya (estimasi koordinat 6°53'30.00" LS – 112°43'44.00" BT), maka bisa dipastikan bahwa kerangka kapal Tongkang Utama 9 mengalami pergeseran terhadap posisi awal sebesar 633,67 meter ke arah tenggara.



Gambar 4.2 Perpindahan Posisi Awal Karam dengan Posisi Kerangka Kapal

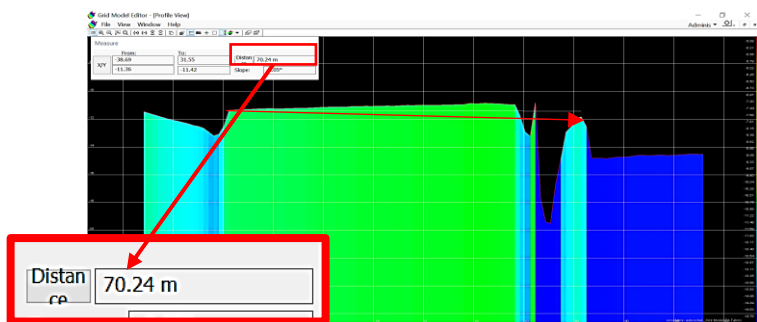
4.1.2 Dimensi Kerangka Kapal

Hasil pengukuran dimensi kerangka kapal Tongkang Utama 9 pada grid model batimetri *multibeam echosounder* dapat divalidasi menggunakan data dimensi kerangka kapal Tongkang Utama 9 yang terdaftar pada Surat Laut Kementerian Perhubungan (KEMENHUB) Republik Indonesia.

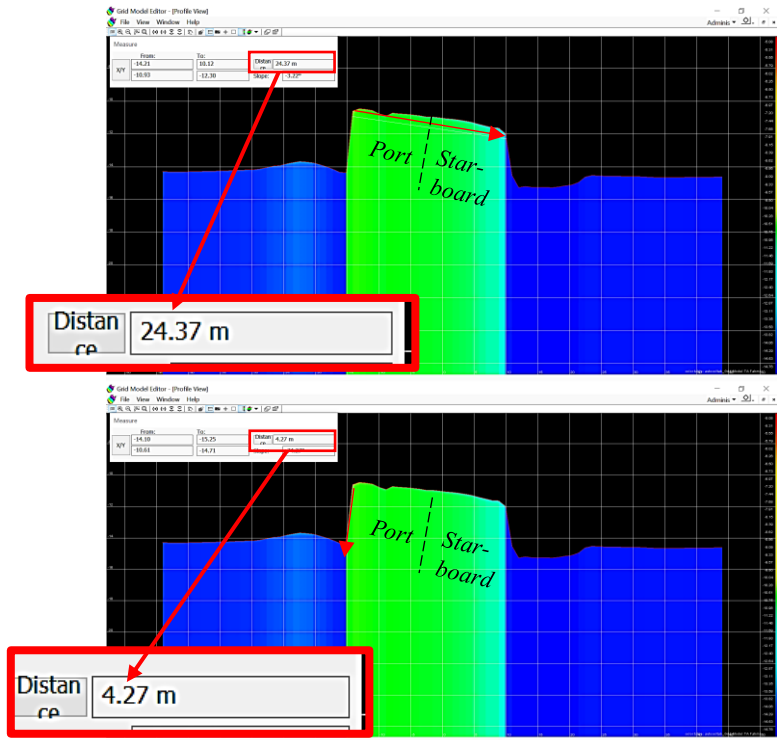
Tabel 4.2 Dimensi Kapal Tongkang Utama 9

| | |
|---------|-------------|
| Panjang | 70,23 meter |
| Lebar | 24,38 meter |
| Tinggi | 4,27 meter |

Setelah dilakukan proses identifikasi objek kerangka kapal, dimensi kerangka kapal Tongkang Utama 9 pada grid model batimetri *multibeam echosounder* dapat dikatakan memiliki nilai yang cukup sesuai dengan data dimensi kapal Tongkang Utama 9 dari KEMENHUB. Untuk lebih pastinya bisa dilihat melalui tampilan profil memanjang dan melintang dari kerangka kapal seperti yang tertera pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.3 Profil Memanjang Kerangka Kapal



Gambar 4.4 Profil Melintang Kerangka Kapal

4.2 Analisis

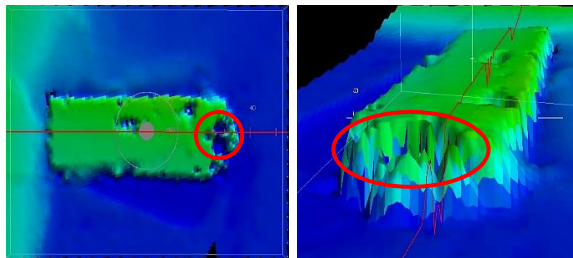
Berdasarkan identifikasi objek kerangka kapal pada grid model batimetri *multibeam echosounder*, bentuk objek kerangka kapal yang ditemukan sekilas nampak seperti bangun datar dua dimensi persegi panjang sederhana dengan tingkat detail dan kompleksitas yang rendah. Hal ini bisa dikatakan wajar mengingat objek kerangka kapal tersebut merupakan jenis “Tongkang” alias kapal angkut, yang kondisi aslinya memang demikian. Kapal Tongkang, atau bisa juga disebut sebagai Kapal Ponton, adalah jenis kapal yang digunakan untuk membawa kargo. Bentuknya memang sengaja

dibuat datar pada bagian lambung layaknya rakit, agar kapasitas angkut argo semakin meningkat. Jenis kapal ini tidak bisa bekerja secara independen, perlu ada Kapal Tunda yang menariknya (*Marine Insight* 2016).



Gambar 4.5 Kapal Tongkang
(www.marineinsight.com 2016)

Pada tampilan 3D grid model batimetri *multibeam echosounder*, objek kerangka kapal juga nampak tidak tertutup sempurna (berlubang) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.6. Lubang tersebut merupakan bekas *crane* kapal yang telah diambil ketika kapal masih tenggelam sebagian. Tujuannya agar mengurangi tingkat risiko bahaya di alur pelayaran serta memudahkan proses pengangkatan kerangka kapal nantinya.



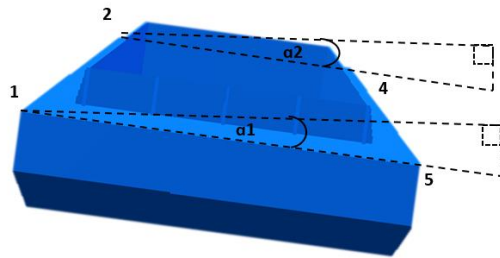
Gambar 4.6 Model 3D Kerangka Kapal

Untuk menghitung sudut kemiringan, dilakukan perhitungan jarak datar (d), beda tinggi (ΔH), dan besar sudut (α) berdasarkan Gambar 4.1, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. Formula untuk bisa memperoleh nilai sudut kemiringan kerangka kapal adalah sebagai berikut:

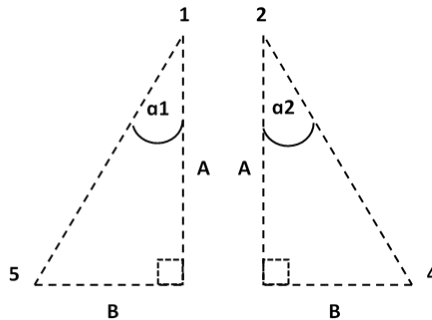
$$d = \sqrt{(\Delta Y)^2 + (\Delta X)^2} \quad (4.1)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (4.2)$$

$$\alpha = \text{arc Tan} = \text{Sisi Depan} / \text{Sisi Samping} \quad (4.3)$$



Gambar 4.7 Ilustrasi Besar Sudut Kemiringan Kerangka Kapal pada Profil Melintang
(www.thingiverse.com 2017)



Gambar 4.8 Perhitungan Besar Sudut Kemiringan α_1 dan α_2

Sisi 1-5

$dA = 20,94$ meter

$\Delta HB = 0,66$ meter

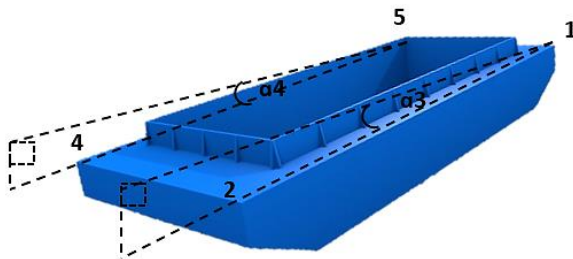
$\alpha_1 = 1,80^\circ$

Sisi 2-4

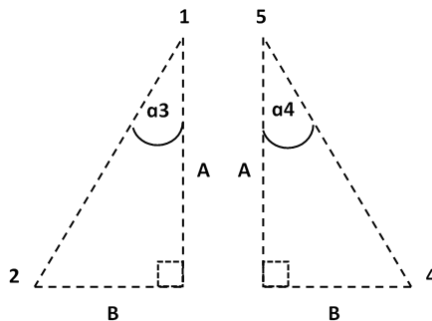
$dA = 20,32$ meter

$\Delta HB = 0,74$ meter

$\alpha_2 = 2,08^\circ$



Gambar 4.9 Ilustrasi Besar Sudut Kemiringan Kerangka Kapal pada Profil Memanjang
(www.thingiverse.com 2017)



Gambar 4.10 Perhitungan Besar Sudut Kemiringan α_3 dan α_4

Sisi 1-2

$$dA = 65,11 \text{ meter}$$

$$\Delta HB = 0,04 \text{ meter}$$

$$\alpha_3 = 0,03^\circ$$

Sisi 5-4

$$dA = 62,17 \text{ meter}$$

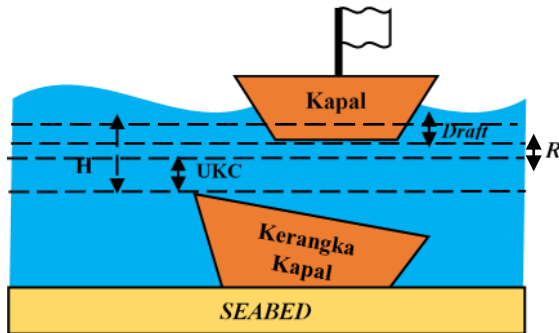
$$\Delta HB = 0,12 \text{ meter}$$

$$\alpha_4 = 0,11^\circ$$

Jika ditinjau berdasarkan tampilan profil melintang kerangka kapal pada Gambar 4.4, kondisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 nampak cenderung miring ke bagian *starboard* kapal (sisi sebelah kanan kapal, dilihat dari belakang). Setelah dilakukan perhitungan *arc tan*, diperkirakan besar sudut kemiringan kerangka kapal antara $1,80^\circ$ - $2,08^\circ$. Sedangkan jika ditinjau pada profil memanjang kerangka kapal pada Gambar 4.3, kondisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 nampak cenderung menjorok ke arah dalam mulai dari bagian ujung belakang kapal hingga ke bagian ujung depan kapal. Setelah dilakukan perhitungan *arc tan*, diperkirakan besar sudut kemiringan kerangka kapal antara $0,03^\circ$ - $0,11^\circ$.

Karena posisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 sudah bisa dipastikan, maka bisa dilakukan analisis terkait dengan keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS. Analisis yang dihasilkan tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan kebijakan baru untuk melakukan perubahan terhadap sistem rute alur pelayaran di wilayah APBS. Kebijakan yang dimaksud tentunya hanya bersifat temporer serta berlaku dalam kurun waktu tertentu saja selama objek kerangka kapal yang terindikasi membahayakan alur pelayaran masih tertinggal di dasar laut.

Dari data kedalaman grid model batimetri *multibeam echosounder*, bisa dihitung sisa jarak aman antara lunas kapal yang melintasi alur pelayaran di wilayah APBS hingga ke dasar laut. Dalam hal ini, digunakan nilai kedalaman kerangka kapal Tongkang Utama 9 sebagai acuan pengganti *seabed* untuk perhitungan nilai *under keel clearances* (UKC). Penentuan nilai UKC merupakan salah satu faktor penting bagi keselamatan dan efisiensi pelayaran. Adapun kapal (*vessel*) modern seperti sekarang rata-rata memiliki ukuran yang besar sehingga tidak bisa memasuki wilayah pelabuhan kecuali jika mendekati waktu permukaan air laut mulai pasang. Oleh karena itu, penentuan nilai UKC yang tidak akurat dapat menimbulkan dampak buruk terhadap keselamatan alur pelayaran serta kerugian secara ekonomi. Secara umum, nilai UKC pada Gambar 4.11 dapat diketahui melalui persamaan berikut (Parker dan Huff 1998):



Gambar 4.11 *Under Keel Clearances*

$$UKC = H - Draft - R \quad (4.4)$$

Dimana:

UKC : *Under Keel Clearances*, jarak aman antara lunas kapal dengan objek di bawah air (m)

- H : Kedalaman kerangka kapal (m)
Draft : Bagian kapal yang tercelup ke air, diasumsikan dengan nilai *draft* kapal terbesar (m)
 R : Ruang bebas bersih 10% dari *draft* kapal (m)

Maka:

$$\begin{aligned}\text{UKC} &= 11,01 - 8,30 - (10\% \times 8,30) \\ &= 1,88 \text{ meter}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diketahui bahwa nilai UKC sebesar 1,88 meter. Nilai *draft* pada perhitungan di atas merupakan milik salah satu kapal dengan nilai *draft* terbesar yang melintasi alur pelayaran di wilayah APBS, yaitu *Genting Dream Cruise* dengan nilai *draft* sebesar 8,30 meter serta lebar sebesar 39,70 meter. Nilai kedalaman wilayah perairan minimal yang dibutuhkan oleh *Genting Dream Cruise* untuk bisa dikatakan aman dalam berlayar dapat dicari melalui rumus (2.8) di bawah ini:

$$H = d + G + R + P$$

Dimana:

H : Kedalaman alur (m)

d : *Draft* kapal (m)

G : Gerak vertikal kapal karena gelombang dan *squat* (m)

R : Ruang bebas bersih 10-15% dari *draft* kapal (m)

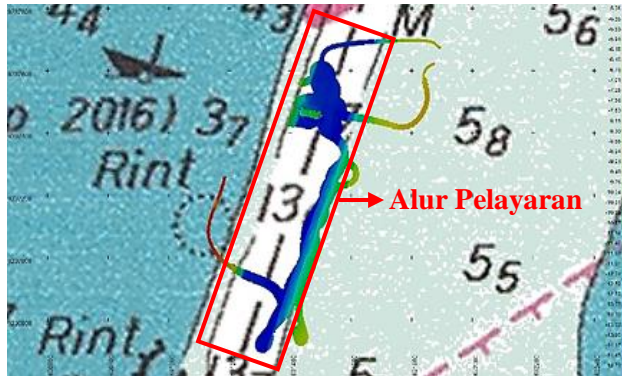
P : Ketelitian pengukuran (m)

Maka:

$$\begin{aligned}H &= 8,30 + ((39,70/2) \times \sin 5^\circ) + 0,83 + 0 \\ &= 10,86 \text{ meter}\end{aligned}$$

Nilai kedalaman pada lokasi kerangka kapal termasuk masih aman untuk dilewati *Genting Dream Cruise*. Sedangkan untuk nilai UKC, menurut Keputusan Menteri Perhubungan No. 455 Tahun 2016 tentang Penetapan Alur Pelayaran, Sistem Rute, Tata Cara Berlalu Lintas, dan Daerah Labuh Kapal Sesuai dengan Kepentingannya di APBS, kapal dilarang memasuki alur pelayaran dengan nilai UKC kurang dari 10% *draft*. Dalam hal ini, nilai UKC *Genting Dream Cruise* juga masih memenuhi syarat (10% *draft* = 0,83 meter). Dengan demikian, walaupun masih ada sisa jarak aman bagi kapal dengan nilai *draft* hingga 8,30 meter untuk berlayar tetapi keberadaan kerangka kapal Tongkang Utama 9 di wilayah APBS tetap dikatakan cukup berbahaya bagi keselamatan alur pelayaran (*area to be avoided*) sehingga tidak boleh ada aktivitas pelayaran di atas lokasi kerangka kapal demi jaminan keamanan serta kondisi di bawah perairan yang tidak bisa di-*monitoring* setiap saat.

Untuk verifikasi posisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 terhadap alur pelayaran, maka grid model batimetri *multibeam echosounder* dapat ditampilkan dengan Peta Laut Indonesia (PLI) Wilayah Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya Skala 1 : 75.000 seperti pada Gambar 4.12. Posisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 sekilas nampak terletak di bagian tengah salah satu rute alur pelayaran dengan arah melintang.

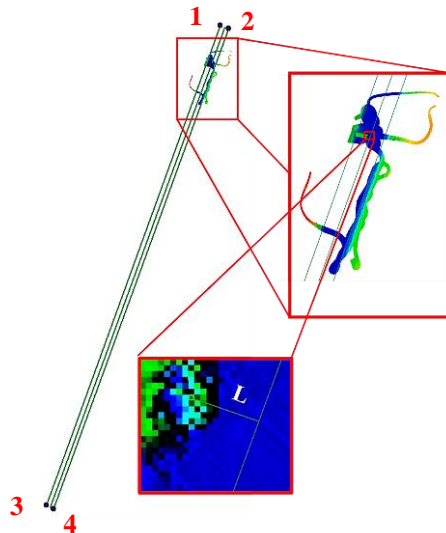


Gambar 4.12 Posisi Kerangka Kapal Terhadap Alur Pelayaran

Untuk mengetahui jarak kerangka kapal terhadap as alur pelayaran, diperlukan koordinat *fix* alur pelayaran di wilayah APBS. Rincian koordinat alur pelayaran di wilayah APBS bisa diperoleh melalui Keputusan Menteri Perhubungan No. 455 Tahun 2016 tentang Penetapan Alur Pelayaran, Sistem Rute, Tata Cara Berlalu Lintas, dan Daerah Labuh Kapal Sesuai dengan Kepentingannya di APBS, seperti yang tercantum pada Tabel 4.3 dan ilustrasi pada Gambar 4.13 di bawah ini:

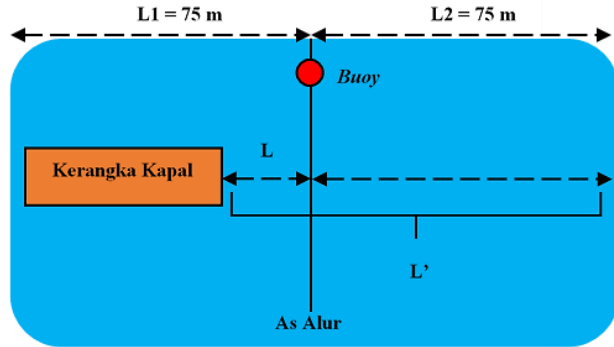
Tabel 4.3 Sampel Koordinat Alur Pelayaran di Wilayah APBS

| No. | Lintang | Bujur |
|-----|-----------------|-------------------|
| 1. | 6°53'20,491" LS | 112°44'5,532" BT |
| 2. | 6°53'22,127" LS | 112°44'10,136" BT |
| 3. | 6°58'10,112" LS | 112°42'22,446" BT |
| 4. | 6°58'12,367" LS | 112°42'28,829" BT |



Gambar 4.13 Posisi Kerangka Kapal Terhadap As Alur Pelayaran

Pada Gambar 4.13, lokasi kerangka kapal Tongkang Utama 9 terletak 10,05 meter dari as alur APBS (L). APBS merupakan alur pelayaran yang menerapkan sistem rute dua arah, dengan lebar total sebesar 150 meter (lihat di Gambar 4.14, nilai L_1 dan L_2 masing-masing sebesar 75 meter), maka bisa diketahui lebar sisa alur pelayaran yang berada pada radius aman dari lokasi kerangka kapal dan masih bisa digunakan untuk kegiatan pelayaran (L'). Karena L' bernilai sebesar 85,05 meter, maka sama artinya dengan lebar APBS sementara yang aman untuk digunakan sebesar 85,05 meter pula.



Gambar 4.14 Perhitungan Lebar Sisa
Alur Pelayaran

Lebar kapal lain yang melintasi rute tersebut masih harus memperhatikan sebagai bahan pertimbangan apakah L' masih memungkinkan atau tidak jika digunakan untuk keperluan alur pelayaran sistem rute dua arah. Oleh karena itu, jika L' dibagi menjadi dua agar dapat menjadi alur pelayaran sistem rute dua arah, maka hasilnya sebesar 42,52 meter. Secara logika, tentunya L' masih sanggup dijadikan sebagai alur pelayaran sistem rute dua arah yang baru (dengan asumsi lebar kapal rata-rata yang berlayar di wilayah APBS sekitar 30 meter). Tetapi untuk praktik di lapangan, tidak bisa diterapkan begitu saja karena ada banyak faktor lain yang perlu dipertimbangkan.

Mengacu pada rumus perhitungan lebar alur pelayaran sistem rute dua arah milik (Kramadibrata 2002), jika L' dipaksa untuk tetap menjadi alur pelayaran sistem rute dua arah maka hasilnya akan kurang aman digunakan untuk keperluan alur pelayaran, seperti perhitungan di bawah ini:

$$L = 2f + 2d + 2b + s$$

Dimana:

- b : Lebar kapal yang direncanakan lewat (m)
- d : Lebar pergerakan horizontal kapal akibat alur pelayaran yang tidak searah dengan arus (1,2-1,5 x b) (m)
- s : Faktor pengaman antara dua kapal (1 x b) (m)
- f : Faktor pengaman antara sisi alur (1,5 x b) (m)
- L : Lebar alur pelayaran (2d + 2f + s) (m)

Maka:

$$\begin{aligned}
 L &= (2 \times (1,5 \times 30)) + (2 \times (1,5 \times 30)) + (2 \times (30)) + \\
 &\quad (1 \times 30) \\
 &= 270 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, bahkan lebar asli alur pelayaran APBS saat ini pun (150 meter) masih dikatakan kurang dari kondisi ideal. Sedangkan jika mengacu pada rumus lebar alur pelayaran sistem rute dua arah (2.10) dan (2.11) milik Departemen Perhubungan, maka panjang L' juga tetap kurang aman digunakan untuk keperluan alur pelayaran namun lebar asli alur pelayaran APBS menjadi ideal.

Untuk daerah kapal sering berpapasan

$$L = 4b + 30 \text{ meter}$$

Untuk daerah kapal jarang berpapasan

$$L = 3b + 30 \text{ meter}$$

Dimana:

- L : Lebar alur pelayaran (m)
- B : Lebar kapal (m)

Maka:

Untuk daerah kapal sering berpapasan

$$L = 4 \times (30) + 30 = 150 \text{ meter}$$

Untuk daerah kapal jarang berpapasan

$$L = 3 \times (30) + 30 = 120 \text{ meter}$$

Mengacu kembali pada rumus perhitungan lebar alur pelayaran sistem rute satu arah milik (Kramadibrata 2002), lebar L' masih sangat kurang memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai alur pelayaran sistem rute satu arah.

$$L = 4,5b$$

Dimana:

b : Lebar kapal yang direncanakan lewat (m)

Maka:

$$\begin{aligned} L &= 4,5 \times (30) \\ &= 135 \text{ meter} \end{aligned}$$

Sedangkan jika mengacu pada rumus lebar alur pelayaran sistem rute satu arah (2.9) milik Departemen Perhubungan, maka hasilnya juga masih kurang aman namun terbilang cukup mendekati spesifikasi alur pelayaran untuk sistem rute satu arah, seperti perhitungan berikut:

$$L = 2b + 30 \text{ meter}$$

Maka:

L : Lebar alur pelayaran (m)

b : Lebar kapal (m)

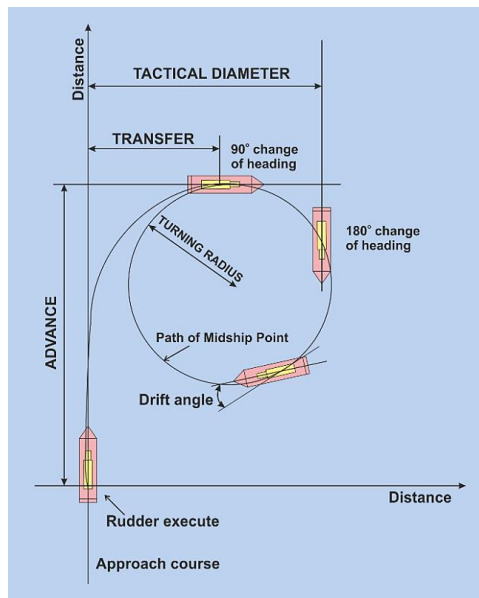
Maka:

$$L = 2 \times (30) + 30 = 90 \text{ meter}$$

Adanya faktor pengaman atau pembatas jarak antar kapal seperti (d , s , f) merupakan upaya preventif untuk menghindari terjadinya kecelakaan ketika dua kapal saling berpapasan. Hal ini berkaitan dengan adanya penyimpangan posisi kapal ketika berlayar di laut akibat

pengaruh dari arus dan/atau angin. Dampak yang ditimbulkan mengakibatkan kedua kapal yang berpapasan akan saling berjauhan atau justru akan saling berdekatan sehingga dapat menyebabkan terjadinya tubrukan. Dengan demikian, selama kerangka kapal Tongkang Utama 9 masih belum diamankan, maka wilayah APBS di sekitar lokasi kerangka kapal sementara harus mengalami perubahan jenis lalu lintas alur pelayaran dari yang semula sistem rute dua arah kini menjadi sistem rute satu arah, khusus pada daerah yang as alurnya berdekatan dengan lokasi kerangka kapal.

Radius jarak aman bagi kapal lain untuk belok ketika mendekati lokasi kerangka kapal bisa mengacu pada perhitungan *Advance* dan *Tactical Diameter* seperti pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 *Advance dan Tactical Diameter*
(www.marineinsight.com 2017)

Advance merupakan jarak aman yang dibutuhkan oleh kapal yang sedang melaju ke depan untuk bisa melakukan manuver belok dengan sempurna hingga membentuk sudut 90° , sedangkan *Tactical Diameter* adalah jarak aman yang diperlukan oleh kapal untuk bisa melakukan manuver belok dengan sempurna hingga membentuk sudut 180° terhadap haluan semula. Kondisi ideal untuk bisa memperoleh nilai *Advance* dan *Tactical Diameter* yang aman dapat diketahui melalui rumus berikut (*Marine Insight* 2017):

$$\text{Advance} > 4,5 \times \text{Panjang Kapal} \quad (4.5)$$

$$\text{Tactical Diameter} > 5 \times \text{Panjang Kapal} \quad (4.6)$$

Estimasi waktu perubahan alur tersebut dapat disesuaikan dengan lamanya waktu pengangkatan kerangka kapal. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 71 Tahun 2013 tentang *Salvage* dan/atau Pekerjaan Bawah Air, kerangka kapal Tongkang Utama 9 harus sudah dipindahkan paling lambat 30 hari kalender setelah kapal karam. Hal ini dikarenakan kerangka kapal Tongkang Utama 9 termasuk tingkat gangguan I bagi keselamatan alur pelayaran di wilayah APBS. Ditinjau dari lokasinya, kerangka kapal Tongkang Utama 9 berada di perairan pada Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pada penelitian ini, dihasilkan sebuah Peta Lokasi Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 di Wilayah APBS skala 1 : 5.000 yang memuat posisi dan tampilan bentuk objek kerangka kapal Tongkang Utama 9, serta sebuah Peta Kontur Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 di Wilayah APBS skala 1 : 1.000 yang memuat nilai kedalaman kerangka kapal disertai dengan garis kontur.
- 2) Berdasarkan grid model batimetri *multibeam echosounder*, posisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 ditemukan telah berada di dalam wilayah APBS (rentang koordinat 6°53'43,024" LS – 6°53'44,090" LS dan 112°43'57,239" BT - 112°43'59,493" BT), dengan arah melintang terhadap salah satu rute alur pelayaran. Kondisi kerangka kapal Tongkang Utama 9 cenderung miring ke sisi kanan (*starboard*) kapal dan menjorok ke arah dalam mulai dari bagian ujung belakang kapal hingga ke bagian ujung depan kapal. Keberadaan kerangka kapal Tongkang Utama 9 di wilayah APBS dianggap berbahaya bagi keselamatan alur pelayaran (*area to be avoided*) demi jaminan keamanan serta kondisi di bawah perairan yang tidak bisa di-*monitoring* setiap saat, walaupun kedalaman pada lokasi kerangka kapal memiliki nilai UKC yang masih memenuhi syarat untuk kapal dengan nilai *draft* hingga 8,3 meter. Jenis lalu lintas di wilayah APBS juga harus mengalami perubahan menjadi sistem rute satu arah dari yang semula menganut sistem rute dua

arah, untuk wilayah yang as alurnya berdekatan dengan lokasi kerangka kapal Tongkang Utama 9.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah diperlukan adanya data pendukung lain seperti data kolom air ataupun data citra *side scan sonar* untuk bisa menggali informasi lebih lanjut terkait kondisi kerangka kapal di dasar laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. 2005. Penentuan Posisi dengan Receiver GPS Satu Frekuensi, Status, dan Permasalahannya. Bandung : ITB.
- Achmad, Z. 2011. “Analisa Pola Arus dan Laju Sedimentasi Terhadap Perubahan Batimetri di Perairan Teluk Tomini Gorontalo”. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan ITS. Dalam Wahyuni, N., Armono, H.D., dan Sujantoko. 2013. “Analisa Laju Volume Sedimentasi di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)”. Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.1:1-6.
- Bartholomä, A. 2006. “Acoustic Bottom Detection and Seabed Classification in The German Bight, Southern North Sea”. *Geo-Marine Letters*, 26:177. Dalam Lubis, M.Z., dan Anurogo, W. 2017. “Identifikasi Profik Dasar Laut Menggunakan Instrumen Side Scan Sonar dengan Metode Beam Pattern Discrete-Equi-Spaced Unshaded Line Array”. *Jurnal Kelautan* Vol.10 No.1:88.
- Bates, C.R., Lawrence, M., Dean, M., dan Robertson, P. 2011. “Geophysical Methods for Wreck-Site Monitoring: The Rapid Archaeological Site Surveying and Evaluation (RASSE) Programme”. *The International Journal of Nautical Archaeology*:404–416.
- Badan Standar Nasional. 2014. Standar Nasional Indonesia 7988:2014 tentang Survei Batimetri Menggunakan Multibeam Echosounder. Jakarta.
- Blondel, P. 2009. *The Handbook of Sidescan Sonar*. Chichester : Praxis Publishing.
- Colbo, K., Ross, T., Brown, C., dan Weber, T. 2014. “A Review of Oceanographic Applications of Water Column Data from Multibeam Echosounders”. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*:1-16.

- Darmawan, M.D. 2016. "Pembuatan Alur Pelayaran dalam Rencana Pelabuhan Marina Pantai Boom, Banyuwangi". Tugas Akhir. Departemen Teknik Geomatika ITS.
- De Moustier, C. 1986. "Beyond Bathymetry: Mapping Acoustic Backscattering from The Deep Seafloor with Sea Beam". *Journal Acoustical Society of America* Vol.79 No.2:316-331.
- Dinas Hidrografi dan Oseanografi. 1995. Peta Laut No. 1 Republik Indonesia tentang Simbol-Symbol dan Singkatan-Singkatan Peta Laut. Jakarta.
- Environmental Systems Research Institute. <URL: <http://esri.com/news/arcuser/0103/differential2of2.html>>. Dikunjungi pada 6 Maret 2018, jam 20.30 WIB.
- Fish, J.P. dan Carr, H.A. 1990. *Sound Underwater Images: A Guide to The Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data*. Orleans: Lower Cape Publishing.
- Savini, A. 2011. "Side-scan sonar as a tool for seafloor imagery: examples from the mediterranean continental margin, sonar systems". *InTech*:300-322.
- Hansen, R.E. 2011. "Introduction to Synthetic Aperture Sonar, in *Sonar Systems First Edition*". *InTech*:1-25.
- Haryanto, D. Instalasi dan Sea Acceptance Test Multibeam Echosounder Laut Dalam Teledyne HydroSweep DS K.R Baruna Jaya I – BPPT serta Pemetaan Batimetri. <URL:<http://barunajaya.bppt.go.id/index.php/id/berita/item/105-instalasi-dan-sea-acceptance-test-multibeam-echosounder-laut-dalam-teledyne-hydrosweep-ds-k-r-baruna-jaya-i-bppt-serta-pemetaan-batimetri.html>>. Dikunjungi pada 7 Januari, jam 23.50 WIB.
- Hughes Clarke, J.E., Lamplugh, M., dan Czotter, K. 2006. "Multibeam Water Column Imaging : Improved Wreck

- Least-Depth Determination". Canadian Hydrographic Conference:1-10.
- International Hydrographic Organization. 1994. Hydrographic Dictionary. Special Publication No. 32 (hal. 108). Monaco : IHO Publisher.
- International Hydrographic Organization. 2008. Hydrographic Dictionary. Special Publication No. 44. Monaco : IHO Publisher.
- International Hydrographic Organization.
<URL:https://www.iho.int/srv1/index.php?option=com_content&view=article&id=299&Itemid=289&lang=en.html>. Dikunjungi pada 7 Januari 2018, jam 13.30 WIB.
- Kenny, A.J., Cato, I., Desprez, M., Fader, G., Schuttenhelm, R.T. E. dan Side, J. 2003. "An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification". ICES Journal of Marine Science 60:411–418. Dalam Savini, A. 2011. "Side-scan sonar as a tool for seafloor imagery: examples from the mediterranean continental margin, sonar systems". InTech:300-322.
- Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., dan Sanders, J.V. 2000. Fundamentals of Acoustics Fourth Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Kramadibrata, S. 2002. Perencanaan Pelabuhan. Bandung : ITB.
- Kurniawan, Dedy.
<URL:<http://dedykur.blogspot.com/2016/06/menentukan-kedalaman-titik-di-laut.html>>. Dikunjungi pada 6 Maret 2018, jam 20.30 WIB.
- Lurton, X. 2002. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. Chichester : Praxis Publishing.

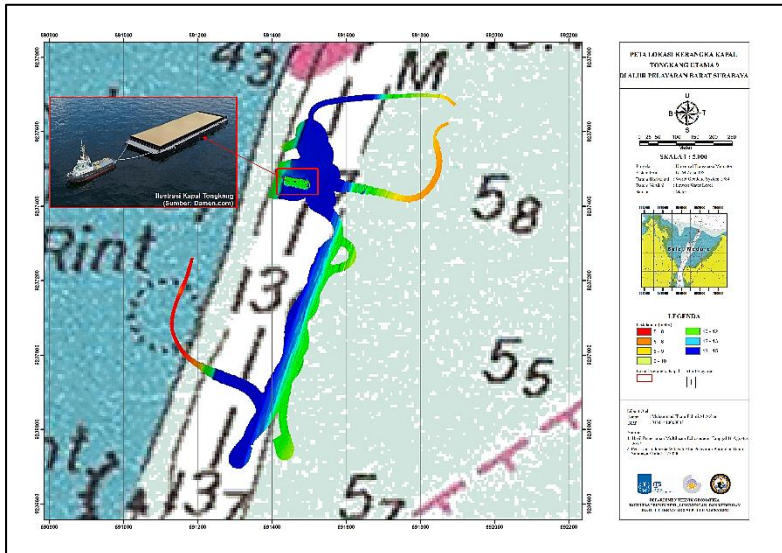
- Marine Insight. <URL:<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/different-types-of-barges-used-in-the-shipping-world/.html>>. Dikunjungi pada 30 Mei 2018, jam 02.30 WIB.
- Marine Insight. <URL:[https:// www.marineinsight.com/naval-architecture/different-types-of-manoevres-of-a-vessel/.html](https://www.marineinsight.com/naval-architecture/different-types-of-manoevres-of-a-vessel/.html)>. Dikunjungi pada 19 Juli 2018, jam 23.00 WIB.
- Masetti, G., Sacile, R., dan Trucco, A. 2011. "Remote Characterization of Seafloor Adjacent to Shipwrecks Using Mosaicking and Analysis of Backscatter Response". *Italian Journal of Remote Sensing*:77-92.
- Masetti, G. dan Calder, B. 2012. "Remote Identification of a Shipwreck from MBES Backscatter". *Journal of Environmental Management* Vol.111:44-52.
- Mayer, L.A. 2006. "Frontiers in Seafloor Mapping and Visualization". *Marine Geophysical Researches*:7-17.
- Medwin, H. dan Clay, S.C. 1998. *Fundamentals of acoustic Oceanography*. Academic Press. London.
- Merriam-Webster Online. <URL:<https://www.merriam-webster.com/dictionary/hydrography>>. Dikunjungi pada 7 Januari 2018, jam 12.30 WIB.
- National Ocean Service. <URL:<https://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html>>. Dikunjungi pada 7 Januari 2018, jam 14.10 WIB.
- Parker, B.B. dan Huff, L.C. 1998. "Modern Under-Keel Clearance Management". *International Hydrographic Review* LXXV:143-165.
- Pickrill, R.A. dan Todd, B.J. 2003. "The Multiple Roles of Acoustic Mapping in Integrated Ocean Management,

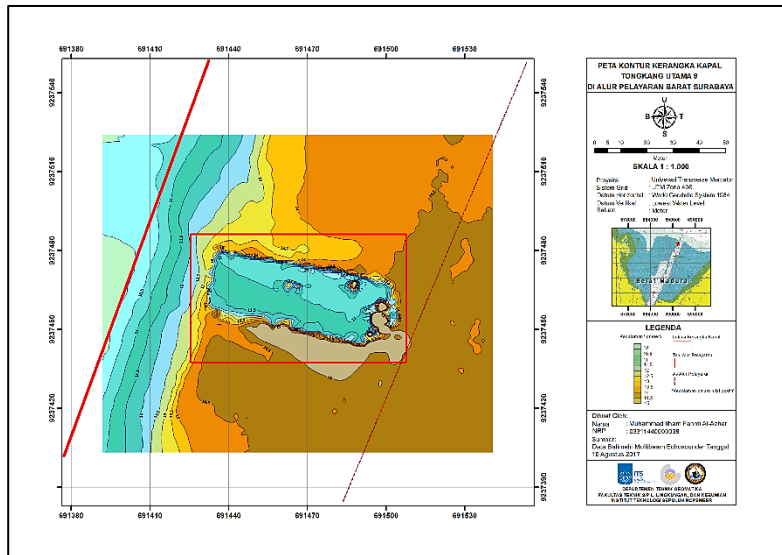
- Canadian Atlantic Continental Margin". Ocean and Coastal Management:601-614.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2006. Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2013. Peraturan Menteri Perhubungan No. 71 Tahun 2013 tentang Salvage dan/atau Pekerjaan Bawah Air. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2016. Keputusan Menteri Perhubungan No. 455 Tahun 2016 tentang Penetapan Alur Pelayaran, Sistem Rute, Tata Cara Berlalu Lintas, dan Daerah Labuh Kapal Sesuai dengan Kepentingannya di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS). Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Perhubungan No. 33 Tahun 2016 tentang Salvage dan/atau Pekerjaan Bawah Air. Jakarta.
- Poerbondono dan Djunarsjah, E. 2005. Survei Hidrografi. Bandung : PT. Refika Aditama.
- Ramadhani, R. 2017. "Deteksi dan Pengukuran Sinyal Hambur Balik Dari Kapal Karam Menggunakan Instrumen Side Scan Sonar di Perairan Cirebon". Tugas Akhir. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan IPB.
- Renard, V. dan Allenou, J.P. 1979. "Sea Beam, Multi-Beam Echo-Sounding in "Jean Charcot" Description, Evaluation, and First Result". International Hydrographic Review:36-57.
- Rinaldy, Y., Nugraha, A.L., dan Subiyanto, S. 2014. "Analisis Pengukuran Batimetri dan Psanag Surut untuk Menentukan Kedalaman Kolam Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)". Jurnal Geodesi UNDIP Vol.3 No.4:25-36.

- Rosdynur, Z.S. 2012. Pekerjaan Survei Hidrografi dan Perencanaan Alur Pelayaran Dalam Usaha Transportasi Hasil Pertambangan Batubara. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika FITB-ITB.
- Rosyidi, H., Achmadi, T., dan Pratidinatri, N.L. 2017. “Analisis Dampak Pengerukan Alur Pelayaran pada Daya Saing Pelabuhan, Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya”. Tugas Akhir. Departemen Teknik Perkapalan ITS.
- Simbolon, S. 2014. “Aplikasi Instrumen Multibeam Sonar dan Side Scan Sonar untuk Deteksi Kapal Karam (Contoh Studi: Kapal Bahuga Jaya di Perairan Selat Sunda)”. Tugas Akhir. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan IPB.
- Soeprapto. 1999. Pasut Laut dan Chart Datum. Yogyakarta : Gajah Mada University Press. Dalam Rinaldy, Y., Nugraha, A.L., dan Subiyanto, S. 2014. “Analisis Pengukuran Batimetri dan Psanag Surut untuk Menentukan Kedalaman Kolam Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)”. Jurnal Geodesi UNDIP Vol.3 No.4:25-36.
- Thingiverse.
 <URL:<https://www.thingiverse.com/thing:2361792/collections.jpg>>. Dikunjungi pada 6 Maret 2018, jam 20.30 WIB.
- Urlick, R.J. 1967. Principles of Underwater Sound for Engineers. New York : Tata McGraw-Hill Education.
- Wahyuni, N., Armono, H.D., & Sujantoko. 2013. “Analisa Laju Volume Sedimentasi di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)”. Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.1:1-6.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Lokasi Kerangka Kapal Tongkang Utama 9 di APBS Skala 1 : 5.000 Dicetak pada Kertas Ukuran A3





**Lampiran 3. Batas Toleransi Kesalahan Ketelitian Kedalaman
Multibeam Echosounder Berdasarkan SP-44 IHO**

| Orde | a (m) | b | D (m) | Dmax (m) | Dmin (m) | D+ (m) | D- (m) | σ (m) |
|----------------|------------|--------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| <i>Special</i> | 0,25 | 0,0075 | -14,43 | -14,34 | -14,57 | 0,09 | -0,14 | 0,27 |
| | | | -14,39 | -14,27 | -14,56 | 0,12 | -0,17 | 0,27 |
| | | | -14,36 | -14,20 | -14,60 | 0,16 | -0,24 | 0,27 |
| | | | -14,71 | -14,67 | -14,77 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,64 | -14,59 | -14,70 | 0,05 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,58 | -14,50 | -14,62 | 0,08 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,51 | -14,45 | -14,60 | 0,06 | -0,09 | 0,27 |
| | | | -14,46 | -14,39 | -14,53 | 0,07 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,42 | -14,38 | -14,46 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,38 | -14,33 | -14,42 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,34 | -14,28 | -14,41 | 0,06 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,29 | -14,25 | -14,34 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,24 | -14,19 | -14,30 | 0,05 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,20 | -14,16 | -14,25 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,15 | -14,11 | -14,18 | 0,04 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -14,10 | -14,08 | -14,14 | 0,02 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,08 | -14,08 | -14,08 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| | | | -14,43 | -14,28 | -14,67 | 0,15 | -0,24 | 0,27 |
| | | | -14,67 | -14,59 | -14,76 | 0,08 | -0,09 | 0,27 |
| | | | -14,61 | -14,53 | -14,68 | 0,08 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,55 | -14,47 | -14,62 | 0,08 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,50 | -14,45 | -14,54 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,44 | -14,39 | -14,49 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,40 | -14,34 | -14,43 | 0,06 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -14,35 | -14,30 | -14,40 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,30 | -14,26 | -14,35 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,26 | -14,21 | -14,31 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,21 | -14,15 | -14,26 | 0,06 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,18 | -14,12 | -14,24 | 0,06 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,14 | -14,11 | -14,18 | 0,03 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,09 | -14,05 | -14,13 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,06 | -14,06 | -14,06 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| | | | -14,62 | -14,57 | -14,67 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,57 | -14,51 | -14,64 | 0,06 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,52 | -14,45 | -14,56 | 0,07 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,46 | -14,40 | -14,52 | 0,06 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,43 | -14,40 | -14,46 | 0,03 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -14,37 | -14,32 | -14,42 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,31 | -14,27 | -14,37 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,27 | -14,22 | -14,32 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,23 | -14,18 | -14,28 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,18 | -14,13 | -14,22 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,15 | -14,12 | -14,18 | 0,03 | -0,03 | 0,27 |

| Orde | a (m) | b | D (m) | Dmax (m) | Dmin (m) | D+ (m) | D- (m) | σ (m) |
|----------------|------------|--------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| <i>Special</i> | 0,25 | 0,0075 | -14,11 | -14,04 | -14,14 | 0,07 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -14,05 | -14,05 | -14,05 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |
| | | | -14,54 | -14,43 | -14,59 | 0,11 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,47 | -14,39 | -14,54 | 0,08 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,42 | -14,37 | -14,49 | 0,05 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,39 | -14,34 | -14,44 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,34 | -14,28 | -14,41 | 0,06 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,28 | -14,24 | -14,32 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,25 | -14,21 | -14,31 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,20 | -14,16 | -14,26 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,16 | -14,11 | -14,21 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,11 | -14,07 | -14,15 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,06 | -14,03 | -14,09 | 0,03 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -14,02 | -13,98 | -14,06 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,01 | -14,00 | -14,03 | 0,01 | -0,02 | 0,27 |
| | | | -14,18 | -14,13 | -14,22 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,13 | -14,07 | -14,17 | 0,06 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,07 | -14,01 | -14,13 | 0,06 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,04 | -14,00 | -14,10 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,00 | -13,96 | -14,05 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,00 | -13,99 | -14,01 | 0,01 | -0,01 | 0,27 |
| | | | -14,10 | -14,06 | -14,15 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,05 | -14,00 | -14,10 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,00 | -13,95 | -14,04 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -13,98 | -13,93 | -14,02 | 0,05 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -13,98 | -13,97 | -13,98 | 0,01 | 0,00 | 0,27 |
| | | | -14,00 | -13,95 | -14,06 | 0,05 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -13,97 | -13,93 | -14,01 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -13,93 | -13,91 | -13,96 | 0,02 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -13,98 | -13,92 | -14,02 | 0,06 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -13,94 | -13,91 | -13,97 | 0,03 | -0,03 | 0,27 |
| | | | -13,93 | -13,92 | -13,94 | 0,01 | -0,01 | 0,27 |
| | | | -14,31 | -14,21 | -14,40 | 0,10 | -0,09 | 0,27 |
| | | | -14,30 | -14,15 | -14,42 | 0,15 | -0,12 | 0,27 |
| | | | -14,22 | -14,12 | -14,35 | 0,10 | -0,13 | 0,27 |
| | | | -14,18 | -14,12 | -14,24 | 0,06 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,18 | -13,98 | -14,32 | 0,20 | -0,14 | 0,27 |
| | | | -14,17 | -13,99 | -14,28 | 0,18 | -0,11 | 0,27 |
| | | | -13,89 | -13,78 | -13,97 | 0,11 | -0,08 | 0,27 |
| | | | -15,05 | -15,00 | -15,10 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,97 | -14,93 | -15,03 | 0,04 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,90 | -14,85 | -14,96 | 0,05 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,81 | -14,77 | -14,85 | 0,04 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,75 | -14,70 | -14,82 | 0,05 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,69 | -14,64 | -14,74 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,62 | -14,57 | -14,69 | 0,05 | -0,07 | 0,27 |
| | | | -14,54 | -14,49 | -14,60 | 0,05 | -0,06 | 0,27 |

| Orde | a (m) | b | D (m) | Dmax (m) | Dmin (m) | D+ (m) | D- (m) | σ (m) |
|----------------|------------|--------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| <i>Special</i> | 0,25 | 0,0075 | -14,45 | -14,35 | -14,53 | 0,10 | -0,08 | 0,27 |
| | | | -14,04 | -13,96 | -14,09 | 0,08 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -15,04 | -14,95 | -15,10 | 0,09 | -0,06 | 0,27 |
| | | | -14,95 | -14,89 | -14,99 | 0,06 | -0,04 | 0,27 |
| | | | -14,89 | -14,85 | -14,94 | 0,04 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,80 | -14,75 | -14,88 | 0,05 | -0,08 | 0,27 |
| | | | -14,74 | -14,69 | -14,79 | 0,05 | -0,05 | 0,27 |
| | | | -14,67 | -14,60 | -14,73 | 0,07 | -0,06 | 0,27 |

Lampiran 4. *Notice to Marine* (Berita Pelaut) Kerangka Kapal Tongkang Utama 9

NNNNNNNN NTM NR. 73

JAKARTA NO. 144

21/06

0236

UTC =

ALL SHIPS =

NR. 75/DV-17

CC : DIRECTOR GENERAL OF SEA TRANSPORTATION CMA DIRECTOR OF SEA AND COAST GUARD CMA HEAD OF DISTRICT NAVIGATION OF SURABAYA CMA CMA HEAD OF HARBOUR MASTER OF SURABAYA CMA HEAD OF HARBOUR MASTER AND PORT AUTHORITY OF GRESIK CMA NAVTEX STATIONS (JAKARTA RADIO AND MAKASSAR RADIO) CMA SURABAYA VTS CMA GRESIK RADIO CMA HEAD OF HYDROG AND OCEANOGRAPHY INDONESIAN NAVY CMA LLO HYDROG OFFICE TAUNTON STOP

TTT NAVIGATION CMA WEST CHANNEL OF SURABAYA CMA NORTH COAST OF JAVA STOP

AA WRECK OF TONGKANG UTAMA 9 ON POSITION 06° 53' 43.98" S / 112° 43' 59.34" E TO POSITION 06° 53' 43.20" S / 112° 43' 59.28" E STOP


BB VESSELS ARE REQUESTED TO NAVIGATE WITH VERY CAUTION IN THIS AREA STOP

CC INDONESIAN CHARTS AFFECTED NR 81A AND 84 STOP

DD DIRECTOR OF NAVIGATION SENDS FULL STOP

DGST INDONESIA ++++++

Lampiran 5. Surat Laut Kapal Tongkang Utama 9



SURAT LAUT

Diterbitkan berdasarkan ketentuan Pasal 58
Permenhub Nomor PM 13 Tahun 2012

REPUBLIK INDONESIA

Yang bertanda tangan di bawah ini
menyatakan bahwa : Direktur Perkapalan dan Kepelautan

| NAMA KAPAL | TANDA PANGGILAN | TEMPAT PENDAFTARAN | TANDA PENDAFTARAN |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| UTAMA 9 eks. PERAI COAL IV | | SAMARINDA | 2005 HK No. 3141 L |

| UKURAN P X L X D (M) | TONASE KOTOR (GT) | TONASE BERSIH (NT) | TAHUN PEMBANGUNAN | NOMOR IMO |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------|
| 70.23 X 24.38 X 4.27 | 1937 | 582 | 1994 | - |

| PENGGERAK UTAMA | MEREK TK/TW | BAHAN UTAMA KAPAL | JUMLAH GELADAK | JUMLAH BALING- BALING |
|--------------------|-------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| - | - | BAJA | SATU | - |

PT SAMUDRA BAHARI UTAMA berkedudukan di SURABAYA
memenuhi syarat sebagai Kapal Indonesia, sesuai dengan ketentuan peraturan
perundang-undangan, oleh karena itu berhak berlayar dengan mengibarkan bendera
Indonesia sebagai bendera kebangsaan kapal.

Kepada seluruh pejabat yang berwenang dan pejabat-pejabat Republik Indonesia maupun
mereka yang bersangkutan berkewajiban supaya memperlakukan nakhoda kapal dan
muatannya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan Republik Indonesia dan
perjanjian-perjanjian dengan negara-negara lain.
Tanda Sclar GT 1937 No. 4302 HK

P.P. No. 1214/2012

Diterbitkan di Jakarta
Pada tanggal 8 Mei 2013

Didaftarkan dalam Register Surat Laut
No. Urut : 5928
No. Halaman : 123
Buku Register : XV

An. MENTERI PERHUBUNGAN
DIREKTUR JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT
DIREKTUR PERKAPALAN DAN KEPELAUTAN
U b
KEPALA SUBDIT PENGUKURAN, PENDAFTARAN
DAN KEBANGSAAN KAPAL

A. ZAHARA SAMUTRA ST. MM
Pembina IV a
NIP. 19630618 198903 1 002

Lampiran 6. Koreksi *Sound Velocity Profile*

| Titik | Kedalaman (m) | Kecepatan (m/s) |
|-------|---------------|-----------------|
| 1. | 0,00 | 1525,10 |
| 2. | -0,50 | 1525,10 |
| 3. | -1,00 | 1525,10 |
| 4. | -1,50 | 1525,10 |
| 5. | -2,00 | 1525,10 |
| 6. | -2,50 | 1525,10 |
| 7. | -3,00 | 1525,10 |
| 8. | -3,50 | 1525,20 |
| 9. | -4,00 | 1525,30 |
| 10. | -4,50 | 1525,30 |
| 11. | -5,00 | 1525,30 |
| 12. | -5,50 | 1525,30 |
| 13. | -6,00 | 1525,30 |
| 14. | -6,50 | 1525,30 |
| 15. | -7,00 | 1525,30 |
| 16. | -7,50 | 1525,30 |
| 17. | -8,00 | 1525,30 |
| 18. | -8,50 | 1525,30 |
| 19. | -9,00 | 1525,30 |
| 20. | -9,50 | 1525,40 |

Lampiran 7. Koreksi Pasang Surut Air Laut Stasiun Pengamatan Dermaga Karang Jamuang

| Tanggal | Waktu (Jam:Menit:Detik) | Koreksi (m) |
|-----------------|-------------------------|-------------|
| 16 Agustus 2017 | 10:00:15 | 1,05 |
| 16 Agustus 2017 | 10:15:05 | 1,06 |
| 16 Agustus 2017 | 10:30:18 | 1,06 |
| 16 Agustus 2017 | 10:45:20 | 1,08 |
| 16 Agustus 2017 | 11:00:18 | 1,12 |
| 16 Agustus 2017 | 11:15:11 | 1,15 |
| 16 Agustus 2017 | 11:30:07 | 1,19 |
| 16 Agustus 2017 | 11:45:09 | 1,21 |
| 16 Agustus 2017 | 12:00:09 | 1,25 |
| 16 Agustus 2017 | 12:15:02 | 1,26 |
| 16 Agustus 2017 | 12:30:15 | 1,29 |
| 16 Agustus 2017 | 12:45:08 | 1,32 |
| 16 Agustus 2017 | 13:00:28 | 1,32 |
| 16 Agustus 2017 | 13:15:11 | 1,36 |
| 16 Agustus 2017 | 13:30:05 | 1,37 |
| 16 Agustus 2017 | 13:45:05 | 1,39 |
| 16 Agustus 2017 | 14:00:00 | 1,42 |
| 16 Agustus 2017 | 14:15:21 | 1,46 |
| 16 Agustus 2017 | 14:30:17 | 1,49 |
| 16 Agustus 2017 | 14:45:14 | 1,53 |
| 16 Agustus 2017 | 15:00:13 | 1,56 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 8. Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Surabaya, 28 Juni 1996. Penulis merupakan anak pertama dan satu-satunya. Hingga saat ini, penulis telah menempuh jenjang pendidikan formal di SDN Bubutan IX/77 Surabaya, SMPN 3 Surabaya, serta SMAN 2 Surabaya. Kemudian, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan dengan mengenyam bangku perkuliahan pada tingkat Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Geomatika – Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK) – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), tergabung sebagai angkatan 2014. Pada masa perkuliahan, penulis pernah diamanahi menjadi *Staff* Divisi Seni dan Olahraga (SO) Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS (HIMAGE-ITS) serta *Staff* Ahli Divisi *Geomatics Islamic Study* (GIS) HIMAGE-ITS. Penulis juga pernah menjabat sebagai *Staff* Biro Kaderisasi Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (BEM – FTSP). Selain itu, penulis juga pernah aktif mengabdikan sebagai jurnalis di *ITS Online* selama satu tahun. Di bidang olahraga, penulis pernah mewakili Departemen Teknik Geomatika untuk bertanding dalam cabang olahraga bulutangkis beregu untuk nomor ganda putra pada Olimpiade FTSP sebanyak dua kali, dimana keduanya penulis berhasil menyabet juara 3.